



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ | ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

---

ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΩΝ  
ΤΗΣ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ ΜΕ ΤΗ ΓΛΩΣΣΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ  
R

ΑΘΑΝΑΣΙΑ ΤΣΙΝΟΥΔΗ

Επιβλέποντες καθηγητες

Δρ. ΛΑΜΠΡΟΣ ΒΑΣΙΛΕΙΑΔΗΣ

Καθ. ΝΙΚΗΤΑΣ ΜΥΛΟΠΟΥΛΟΣ

ΒΟΛΟΣ  
ΙΟΥΝΙΟΣ 2019



© 2019 Αθανασία Τσινούδη

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/32 αρ. 202 παρ. 2).

**Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:**

Πρώτος Εξεταστής (Επιβλέπων)	Δρ. Λάμπρος Βασιλειάδης, Μέλος ΕΔΙΠ, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Δεύτερος Εξεταστής (Συνεπιβλέπων)	Δρ. Νικήτας Μυλόπουλος Καθηγητής, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Τρίτος Εξεταστής	Δρ. Βασιλική Κατσαρδή Επίκουρος Καθηγήτρια, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των

απαιτήσεων για την απόκτηση του

Διπλώματος Πολιτικού Μηχανικού

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Με την περάτωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου, Δρα. Λάμπρο Βασιλειάδη, τόσο για την ακούραστη αφοσίωση και αγάπη του για το αντικείμενο του υδραυλικού πολιτικού μηχανικού, στοιχεία που αποτέλεσαν κίνητρα για την ενασχόλησή μου με αυτό, όσο και για την ευχάριστη διάθεση και την αμέριστη προθυμία του να βοηθήσει στην επίλυση έως και του πιο αμυδρού προβλήματος που παρουσιάστηκε από το πρώτο στάδιο της εκμάθησης του προγράμματος R έως και την τελική ανάλυση των αποτελεσμάτων.

Ακόμη, νιώθω την ανάγκη να ευχαριστήσω τον Δρ. Πολιτικό Μηχανικό Ανδρέα Ευστρατιάδη για την πολύτιμη βοήθεια του στην εύρεση δεδομένων στο πρώτο στάδιο της μελέτης και τον συντάκτη του πακέτου Water Resources System Simulator, Rezgar Arabzadeh, για την άμεση απόκρισή του στις απορίες που προέκυψαν κατά την εφαρμογή του πακέτου στην εργασία.

Ευχαριστίες οφείλω και στους καθηγητές Δρα. Βασιλική Κατσαρδή και Δρα. Νικήτα Μυλόπουλο, που αποτελούν μέλη της εξεταστικής επιτροπής της εργασίας, για την επιστημονική κατάρτιση και έμπνευση που μου προσέφεραν καθορίζοντας την πορεία μου κατά τη διάρκεια των προπτυχιακών μου σπουδών.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω από καρδιάς έναν έναν ξεχωριστά τους γονείς μου, Δημήτρη Τσινούδη και Μαρία Τσόγκα, καθώς και την αδερφή μου, Άννα Τσινούδη, για την κατανόησή και την ένθερμη υποστήριξή τους.

## Περίληψη

Η περιοχή της Θεσσαλίας, ως υδροσύστημα, δέχεται έντονες ανθρωπογενείς πιέσεις τις τελευταίες δεκαετίες, κυρίως λόγω του τεράστιου όγκου των αρδευτικών υδατικών απαιτήσεων των υδρόφιλων καλλιεργειών. Η καταπόνηση του συστήματος οδήγησε σε δραματική μείωση των αποθεμάτων του υπόγειου υδατικού δυναμικού και κατ' επέκταση της στάθμης του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα, ενώ επέφερε επιπτώσεις τόσο στο υδατικό ισοζύγιο όσο και στην οικονομία της περιοχής. Συνεπώς, δίνεται μια περιβαλλοντική αλλά και αναπτυξιακή διάσταση στο πρόβλημα, υπαγορεύοντας τη μελέτη των διαθέσιμων υδατικών ποσοτήτων και τη διαχείριση της κατανομής των τελευταίων στις επιμέρους ζητήσεις. Στην παρούσα εργασία, επιχειρείται η διερεύνηση της κατάστασης, μέσω της προσομοίωσης τριών ταμιευτήρων της περιοχής, Γυρτώνης, Κάρλας και Σμοκόβου, με χρήση του προγράμματος RStudio και της γλώσσας προγραμματισμού R, εργαλεία κατάλληλα για την υδρολογική ανάλυση. Στόχο της μελέτης αποτέλεσε η συγγραφή ενός γενικότερου κώδικα σχηματοποίησης, προσομοίωσης και αξιολόγησης της λειτουργίας ταμιευτήρων, ώστε με την εισαγωγή των κατάλληλων κάθε φορά χρονοσειρών, να παρέχεται μια ανάλυση και πρόβλεψη της λειτουργίας τους. Πιο συγκεκριμένα, αξιοποιώντας δεδομένα χρονοσειρών εισροής και ζητήσεων που καλύπτονται από τους ταμιευτήρες- ή προβλέπεται να καλύπτονται από αυτούς στο μέλλον- υλοποιήθηκε η σχηματοποίηση των τριών υποπεριοχών των ταμιευτήρων και προσομοίωση της λειτουργίας τους. Στη συνέχεια, ακολούθησε στοχαστική-πιθανοτική θεώρηση του συστήματος με την παραγωγή συνθετικών χρονοσειρών εισροής μέσω των μεθόδων πλησιέστερων  $k$  γειτόνων και PARMA(1,1), και προσομοίωση των ταμιευτήρων με τα νέα δεδομένα. Το νέο σύστημα που προέκυψε για κάθε περιοχή αξιολογήθηκε με τη βοήθεια των στατιστικών μεγεθών της αξιοπιστίας, της ελαστικότητας και της ευπάθειας και παρέχει δεδομένα πρόβλεψης αποθήκευσης, υπερχειλίσης, εκροής, εξάτμισης και στάθμης για τον κάθε ταμιευτήρα.

## **Abstract**

The area of Thessaly, as a hydrosystem, has been subjected to intense pressures caused by humans over the last decades, mainly due to the enormous volume of irrigation water requirements of hydrophilic crops. The strain of the system has led to a dramatic decrease in the groundwater stockpiles and to the groundwater level, and had an impact on both water balance and region's economy. Therefore, environmental and developmental dimension is given to the problem, dictating the study of the available water quantities and managing the distribution of the latter to the individual demands. This thesis is an attempt to investigate the situation, by simulating three reservoirs in the area, Gyrtoni, Karla and Smokovo, using the RStudio program and programming language R, tools suitable for hydrological analysis. The aim of the study was the creation of a code of general modeling, simulation and evaluation for reservoir operation, so that, after the input of the appropriate time series, an analysis and forecasting of their operation could be provided. Specifically, using the time series data of inflow and demands covered by the reservoirs - or planned to be covered by them in the future - the shaping of the three sub-areas of reservoirs and simulation of their operation was implemented. Then, a stochastic approach of the system was considered by the production of synthetic inflow time series using two methods, k-Nearest Neighbors and PARMA (1,1), and by the simulation of reservoirs with these new data. The new system for each area was evaluated by using the statistical values of reliability, resilience and vulnerability, and it provides forecasting data of storage, spill, release, , evaporation and water level values for each reservoir.

## Περιεχόμενα

Περίληψη.....	5
Abstract.....	6
Περιεχόμενα.....	7
Κατάλογος Διαγραμμάτων .....	9
Κατάλογος Εικόνων.....	11
Κατάλογος Πινάκων .....	12
Κατάλογος Σχημάτων .....	16
Κατάλογος Χαρτών .....	17
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	
Εισαγωγή.....	18
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	
Ταμιευτήρες και Φράγματα: Κατηγορίες, Χρησιμότητα και Κατασκευαστικά Στοιχεία.....	20
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	
Μεθοδολογία.....	39
3.1 Μοντέλα προσομοίωσης και βελτιστοποίησης συστημάτων υδάτινων πόρων.....	39
3.2 Παρουσίαση προγράμματος R και πακέτων WRSS και RESERVOIR.....	48
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	
Περιοχή Μελέτης: Ταμιευτήρες της Θεσσαλίας.....	55
4.1 Ταμιευτήρας Γυρτώνης.....	63
4.2 Ταμιευτήρας Κάρλας.....	67
4.3 Ταμιευτήρας Σμοκόβου .....	75
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	
Εφαρμογή Μεθοδολογίας.....	80
5.1 Δημιουργία περιοχών μελέτης στην R.....	80
5.2 Μέθοδοι Προσομοίωσης Λειτουργίας Ταμιευτήρα.....	94
5.3 Δημιουργία Συνθετικών Υδρολογικών Χρονοσειρών .....	99
5.3.1 PARMA.....	99
5.3.2 Πλησιέστεροι Γείτονες (KNN).....	102
5.4 Στατιστικά Στοιχεία: Αξιοπιστία, Ελαστικότητα και Ευπάθεια Συστήματος.....	105
5.4.1 Αξιοπιστία (Reliability) .....	105
5.4.2 Ελαστικότητα (Resilience).....	107
5.4.3 Ευπάθεια.....	108
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6	
Αποτελέσματα.....	108
6.1 Γυρτώνη .....	109



6.1.1 WRSS .....	109
6.1.2 RESERVOIR.....	113
6.2 Κάρλα .....	122
6.2.1 WRSS .....	122
6.2.2 RESERVOIR.....	126
6.2.3 Κάρλα: ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΟ ΣΕΝΑΡΙΟ 1 .....	136
6.2.4 Κάρλα: ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΟ ΣΕΝΑΡΙΟ 2.....	147
6.3 Σμόκοβο .....	158
6.3.1 WRSS .....	158
6.3.2 RESERVOIR.....	162
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7	
Συμπεράσματα .....	171
Βιβλιογραφία .....	175
Παράρτημα.....	180
Α. Πίνακες .....	180
Β. Εφαρμογή Συναρτήσεων στην Εργασία.....	192
Γ. Ολοκληρωμένος Κώδικας στην R.....	198

## Κατάλογος Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1: Παράδειγμα Καμπύλες Στάθμης-Αποθέματος-Επιφάνειας Ταμιευτήρα Πλαστήρα.....	33
Διάγραμμα 2: Καμπύλες Στάθμης- Όγκου- Επιφανείας ταμιευτήρα .....	78
Διάγραμμα 3: Διαγράμματα Εκροής του Ποταμού Πηνειού στον Ταμιευτήρα και Εισροής στη Ζήτηση του Ταμιευτήρα Γυρτώνης για τα έτη (1960-2006): Άρδευση Λάρισας, Ζήτηση Αντλιοστασίου Κάρλας και Οικολογική Παροχή. ....	110
Διάγραμμα 4: Αποτελέσματα Προσομοίωσης Ταμιευτήρα Γυρτώνης για τα έτη (1960-2006): Αποθήκευση, Εκροή, Υπερχείλιση και Απώλειες .....	111
Διάγραμμα 5: Θηκόγραμμα Χρονοσειράς Εισροής Q στον Ταμιευτήρα, Προσομοιωμένης από το UTHBAL, κατά τη Χρονική Περίοδο 1960-2006- $[\text{hm}^3]$ ..	114
Διάγραμμα 6: Αποτελέσματα Προσομοίωσης Ταμιευτήρα Γυρτώνης κατά την περίοδο 1960-2006: Αποθήκευση, Υπερχείλιση, Εκροή, Στάθμη και Εξάτμιση .....	115
Διάγραμμα 7: Θηκόγραμμα Χρονοσειρών μετά από 100 Επαναλήψεις- Μέθοδος Πλησιέστερων k Γειτόνων- $[\text{hm}^3]$ .....	117
Διάγραμμα 8: Θηκόγραμμα Χρονοσειρών μετά από 100 Επαναλήψεις- Μέθοδος PARMA(1,1) - $[\text{hm}^3]$ .....	118
Διάγραμμα 9: Αποτελέσματα Προσομοίωσης Ταμιευτήρα Γυρτώνης με Χρονοσειρά Εισροής τη Συνθετική Χρονοσειρά (100 επαναλήψεις)- Μέθοδος Πλησιέστερων k Γειτόνων: Αποθήκευση, Υπερχείλιση, Εκροή, Εξάτμιση και Στάθμη .....	121
Διάγραμμα 10: Αποτελέσματα Προσομοίωσης Ταμιευτήρα Κάρλας με Χρονοσειρά Εισροής τη Συνθετική Χρονοσειρά (100 επαναλήψεις)- Μέθοδος PARMA(1,1): Αποθήκευση, Υπερχείλιση, Εκροή, Εξάτμιση και Στάθμη .....	122
Διάγραμμα 11: Διαγράμματα Εκροής του Καναλιού στον Ταμιευτήρα και Εισροής στη Ζήτηση του Ταμιευτήρα Κάρλας για τα έτη (1960-2006): Άρδευση Κάρλας ...	124
Διάγραμμα 12: Αποτελέσματα Προσομοίωσης Ταμιευτήρα Κάρλας για τα έτη (1968-1994): Αποθήκευση, Εκροή, Υπερχείλιση και Απώλειες.....	125
Διάγραμμα 13: Θηκόγραμμα Χρονοσειράς Εισροής Q στον Ταμιευτήρα, Προσομοιωμένης από το UTHBAL, κατά τη Χρονική Περίοδο 1960-2006 $[\text{hm}^3]$ ..	127
Διάγραμμα 14: Αποτελέσματα Προσομοίωσης Ταμιευτήρα Κάρλας κατά την περίοδο 1960-2006: Αποθήκευση, Υπερχείλιση, Εκροή, Στάθμη και Εξάτμιση .....	129
Διάγραμμα 15: Θηκόγραμμα Χρονοσειρών μετά από 100 Επαναλήψεις- Μέθοδος Πλησιέστερων k Γειτόνων $[\text{hm}^3]$ .....	131
Διάγραμμα 16: Θηκόγραμμα Χρονοσειρών μετά από 100 Επαναλήψεις- Μέθοδος PARMA(1,1) $[\text{hm}^3]$ .....	132

Διάγραμμα 17: Αποτελέσματα Προσομοίωσης Ταμιευτήρα Κάρλας με Χρονοσειρά Εισροής τη Συνθετική Χρονοσειρά (100 επαναλήψεις)- Μέθοδος Πλησιέστερων k Γειτόνων: Αποθήκευση, Υπερχείλιση, Εκροή, Εξάτμιση και Στάθμη-[hm <sup>3</sup> ].....	134
Διάγραμμα 18: Αποτελέσματα Προσομοίωσης Ταμιευτήρα Κάρλας με Χρονοσειρά Εισροής τη Συνθετική Χρονοσειρά (100 επαναλήψεις)- Μέθοδος PARMA(1,1): Αποθήκευση, Υπερχείλιση, Εκροή, Εξάτμιση και Στάθμη .....	135
Διάγραμμα 19: Θηκόγραμμα Χρονοσειράς Εισροής Q στον Ταμιευτήρα, Προσομοιωμένης από το UTHBAL, κατά τη Χρονική Περίοδο 1960-2006- Εναλλακτικό Σενάριο 1 [hm <sup>3</sup> ] .....	137
Διάγραμμα 20: Αποτελέσματα Προσομοίωσης Ταμιευτήρα Κάρλας κατά την περίοδο 1960-2006: Αποθήκευση, Υπερχείλιση, Εκροή, Στάθμη και Εξάτμιση- Εναλλακτικό Σενάριο 1 .....	138
Διάγραμμα 21: Θηκόγραμμα Χρονοσειρών μετά από 100 Επαναλήψεις- Μέθοδος Πλησιέστερων k Γειτόνων- Εναλλακτικό Σενάριο 1 [hm <sup>3</sup> ] .....	141
Διάγραμμα 22: Θηκόγραμμα Χρονοσειρών μετά από 100 Επαναλήψεις- Μέθοδος PARMA(1,1)- Εναλλακτικό Σενάριο 1 [hm <sup>3</sup> ] .....	142
Διάγραμμα 23: Αποτελέσματα Προσομοίωσης Ταμιευτήρα Κάρλας με Χρονοσειρά Εισροής τη Συνθετική Χρονοσειρά (100 επαναλήψεις)- Μέθοδος Πλησιέστερων k Γειτόνων: Αποθήκευση, Υπερχείλιση, Εκροή, Εξάτμιση και Στάθμη- Εναλλακτικό Σενάριο 1 .....	145
Διάγραμμα 24: Αποτελέσματα Προσομοίωσης Ταμιευτήρα Κάρλας με Χρονοσειρά Εισροής τη Συνθετική Χρονοσειρά (100 επαναλήψεις)- Μέθοδος PARMA(1,1): Αποθήκευση, Υπερχείλιση, Εκροή, Εξάτμιση και Στάθμη1- Εναλλακτικό Σενάριο 1 .....	146
Διάγραμμα 25: Θηκόγραμμα Χρονοσειράς Εισροής Q στον Ταμιευτήρα, Προσομοιωμένης από το UTHBAL, κατά τη Χρονική Περίοδο 1960-2006 .....	147
Διάγραμμα 26: Αποτελέσματα Προσομοίωσης Ταμιευτήρα Κάρλας κατά την περίοδο 1960-2006: Αποθήκευση, Υπερχείλιση, Εκροή, Στάθμη και Εξάτμιση – Εναλλακτικό Σενάριο 2 .....	149
Διάγραμμα 27: Θηκόγραμμα Χρονοσειρών μετά από 100 Επαναλήψεις- Μέθοδος Πλησιέστερων k Γειτόνων-Εναλλακτικό Σενάριο 2 [hm <sup>3</sup> ] .....	152
Διάγραμμα 28: Θηκόγραμμα Χρονοσειρών μετά από 100 Επαναλήψεις- Μέθοδος PARMA(1,1) -Εναλλακτικό Σενάριο 2 [hm <sup>3</sup> ] .....	153
Διάγραμμα 29: Αποτελέσματα Προσομοίωσης Ταμιευτήρα Κάρλας με Χρονοσειρά Εισροής τη Συνθετική Χρονοσειρά (100 επαναλήψεις)- Μέθοδος Πλησιέστερων k Γειτόνων: Αποθήκευση, Υπερχείλιση, Εκροή, Εξάτμιση και Στάθμη-Εναλλακτικό Σενάριο 2 .....	156

Διάγραμμα 30: Αποτελέσματα Προσομοίωσης Ταμιευτήρα Κάρλας με Χρονοσειρά Εισροής τη Συνθετική Χρονοσειρά (100 επαναλήψεις)- Μέθοδος PARMA(1,1): Αποθήκευση, Υπερχείλιση, Εκροή, Εξάτμιση και Στάθμη-Εναλλακτικό Σενάριο 2	157
Διάγραμμα 31: Διαγράμματα Εκροής του Ποταμού Σοφαδίτη στον Ταμιευτήρα και Εισροής στις Επιμέρους Ζητήσεις του Ταμιευτήρα Σμοκόβου για τα έτη (1968-1994): Ύδρευση, Άρδευση και Οικολογική Παροχή-[hm <sup>3</sup> ]	159
Διάγραμμα 32: Αποτελέσματα Προσομοίωσης Ταμιευτήρα Σμοκόβου για τα έτη (1968-1994): Αποθήκευση, Εκροή, Υπερχείλιση και Απώλειες-[hm <sup>3</sup> ]	160
Διάγραμμα 33: Θηκόγραμμα Ιστορικής Χρονοσειράς Εισροής Q στον Ταμιευτήρα κατά τη Χρονική Περίοδο 1968-1994-[hm <sup>3</sup> ]	162
Διάγραμμα 34: Αποτελέσματα Προσομοίωσης Ταμιευτήρα Σμοκόβου κατά την περίοδο 1968-1994: Αποθήκευση, Υπερχείλιση, Εκροή, Στάθμη και Εξάτμιση-[hm <sup>3</sup> ]	163
Διάγραμμα 35: Θηκόγραμμα Συνθετικής Χρονοσειράς που προέκυψε από 100 Επαναλήψεις- Μέθοδος Πλησιέστερων k Γειτόνων-[hm <sup>3</sup> ]	165
Διάγραμμα 36: Θηκόγραμμα Χρονοσειρών μετά από 100 Επαναλήψεις- Μέθοδος PARMA(1,1)-[hm <sup>3</sup> ]	166
Διάγραμμα 37: Αποτελέσματα Προσομοίωσης Ταμιευτήρα Σμοκόβου με Χρονοσειρά Εισροής τη Συνθετική Χρονοσειρά (100 επαναλήψεις)- Μέθοδος Πλησιέστερων k Γειτόνων: Αποθήκευση, Υπερχείλιση, Εκροή, Εξάτμιση και Στάθμη	169
Διάγραμμα 38: Αποτελέσματα Προσομοίωσης Ταμιευτήρα Σμοκόβου με Χρονοσειρά Εισροής τη Συνθετική Χρονοσειρά (100 επαναλήψεις)- Μέθοδος PARMA(1,1): Αποθήκευση, Υπερχείλιση, Εκροή, Εξάτμιση και Στάθμη	170

## Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1: (α) Φράγμα Ταυρωπού, (β) Φράγμα Μεσοχώρας	22
Εικόνα 2: Οι βασικοί τύποι φραγμάτων σε κάτοψη και διατομή	25
Εικόνα 3: Φράγμα Βαρύτητας Πλατανόβρυση (Νέστος) και Σχεδιασμός Δυνάμεων Φράγματος Βαρύτητας	26
Εικόνα 4: Φράγμα Daniel Johnson-Quebec Καναδάς (ύψος 214m και μήκος 1314m) και Αντιρηδωτό Φράγμα	27
Εικόνα 5: (α) Τοξωτό Φράγμα, (β) Φράγμα Πλαστήρα	28
Εικόνα 6: Χωμάτινο Φράγμα Ιλαρίωνα	29
Εικόνα 7: Τυπική Διατομή Χωμάτινου Φράγματος με Κεντρικό Πυρήνα (διαζωνισμένο φράγμα)	30
Εικόνα 8: Χαρακτηριστικοί όγκοι και στάθμες ταμιευτήρα	32
Εικόνα 9: Μεταβλητές Υδατικού Ισοζυγίου	34

Εικόνα 10: Θυρόφραγμα Γυρτώνης .....	64
Εικόνα 11: Γέμισμα με Νερό Ταμιευτήρα Κάρλας .....	68
Εικόνα 12: Φράγμα Σμοκόβου.....	75
Εικόνα 13: Γενική Διάταξη Έργων και Οριζοντιογραφία φράγματος Σμοκόβου .....	77
Εικόνα 14: Υδροσύστημα Σμοκόβου.....	77
Εικόνα 15: Μοντέλο 6 Παραμέτρων UTHBAL .....	98

## Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1: Στάθμη- Όγκος- Επιφάνεια Γυρτώνη .....	65
Πίνακας 2: Άρδευση Λάρισα- ΤΟΕΒ Πηνειού ( $\text{hm}^3$ ).....	66
Πίνακας 3: Αντλιοστάσιο Κάρλας ( $\text{hm}^3$ ) (80% της συνολικής άντλησης των $100\text{hm}^3$ ανά έτος) .....	66
Πίνακας 4: Στάθμες λειτουργίας του ταμιευτήρα με τις αντίστοιχες τιμές επιφάνειας και όγκου νερού .....	69
Πίνακας 5: Νομογράφημα της επιφάνειας και του όγκου της λίμνης σε σχέση με τη στάθμη της .....	69
Πίνακας 6: Πίνακας Στάθμης- Όγκου – Επιφάνειας .....	69
Πίνακας 7: Τοπικοί αρδευτικοί ταμιευτήρες του συστήματος άρδευσης του Τ.Ο.Ε.Β Πηνειού .....	70
Πίνακας 8: Πρόγραμμα άντλησης του Τ.Ο.Ε.Β Πηνειού .....	73
Πίνακας 9: Δυναμικότητα του συστήματος με βάση τις μέγιστες παροχές και τις προτεινόμενες από μελέτες απολήψεις του Τ.Ο.Ε.Β. Πηνειού.....	74
Πίνακας 10: Αντλιοστάσιο Κάρλας ( $\text{hm}^3$ ) .....	74
Πίνακας 11: Άρδευση Κάρλα ( $\text{hm}^3$ ) .....	74
Πίνακας 12: Μηνιαίες και ετήσιες υδατικές απαιτήσεις της λεκάνης απορροής Κάρλας για το Επιχειρησιακό Σενάριο 2: Μελλοντική κατάσταση .....	74
Πίνακας 13: Στάθμης- Όγκου- Επιφανείας ταμιευτήρα Σμοκόβου .....	77
Πίνακας 14: Άρδευση Σμοκόβου .....	79
Πίνακας 15: Ύδρευση Σμοκόβου .....	79
Πίνακας 16: Οικολογική Παροχή Σμοκόβου .....	79
Πίνακας 17: Στάθμη-Επιφάνεια-Όγκος Ταμιευτήρα Κάρλας .....	97

Πίνακας 18: Αποτελέσματα Ταμιευτήρα Γυρτώνης-Αποθήκευση, Υπερχείλιση, Εκροή, Απώλειες, Διήθηση και Παραγωγή Ενέργειας-[hm <sup>3</sup> ] .....	112
Πίνακας 19: Μηνιαίες και Ετήσιες Τιμές Μεγεθών Ταμιευτήρα Γυρτώνης-Αποθήκευση, Υπερχείλιση, Εκροή, Απώλειες, Διήθηση και Παραγωγή Ενέργειας-[hm <sup>3</sup> ].....	113
Πίνακας 20: Στατιστικά Στοιχεία (μέση τιμή, διάμεσος τιμή, μέγιστη και ελάχιστη τιμή) Χρονοσειράς Εισροής Q στον Ταμιευτήρα, Προσομοιωμένης από το UTHBAL, κατά τη Χρονική Περίοδο 1960-2006-[hm <sup>3</sup> ] .....	114
Πίνακας 21 : Μηνιαία και Ετήσια Αποτελέσματα Προσομοίωσης Ταμιευτήρα Γυρτώνης κατά την περίοδο 1960-2006: Αποθήκευση, Υπερχείλιση, Εκροή, Στάθμη και Εξάτμιση-[hm <sup>3</sup> ].....	115
Πίνακας 22: Στατιστικά Στοιχεία (μέση τιμή, διάμεσος τιμή, μέγιστη και ελάχιστη τιμή) Συνθετικής Χρονοσειράς Εισροής μετά από 100 Επαναλήψεις- Μέθοδος Πλησιέστερων k Γειτόνων-[hm <sup>3</sup> ].....	117
Πίνακας 23: Στατιστικά Στοιχεία (μέση τιμή, διάμεσος τιμή, μέγιστη και ελάχιστη τιμή) Συνθετικής Χρονοσειράς Εισροής μετά από 100 Επαναλήψεις- Μέθοδος PARMA(1,1) -[hm <sup>3</sup> ] .....	118
Πίνακας 24: Έλεγχος Στατιστικών Τιμών (μέση τιμή, διάμεσος τιμή, μέγιστη και ελάχιστη τιμή) χρονοσειράς Q που προέκυψε από προσομοίωση στο UTHBAL και Συνθετικής Χρονοσειράς μετά από 100 Επαναλήψεις - Μέθοδος Πλησιέστερων k-Γειτόνων Μέθοδος PARMA(1,1) μηνιαίες και ετήσιες τιμές-[hm <sup>3</sup> ] .....	119
Πίνακας 25: Αποτελέσματα Ταμιευτήρα Γυρτώνης –Μέσες, Ελάχιστες και Μέγιστες Τιμές-Αποθήκευση, Εκροή, Υπερχείλιση , Εξάτμιση και Στάθμη (Μέθοδος Πλησιέστερων k Γειτόνων, Μέθοδος PARMA(1,1) και Ιστορικές Χρονοσειρές RESERVOIR και WRSS) -[hm <sup>3</sup> ].....	120
Πίνακας 26: Αποτελέσματα Ταμιευτήρα Κάρλας-Αποθήκευση, Υπερχείλιση, Εκροή, Απώλειες, Διήθηση και Παραγωγή Ενέργειας .....	125
Πίνακας 27: Μηνιαίες και Ετήσιες Τιμές Μεγεθών Ταμιευτήρα Σμοκόβου-Αποθήκευση, Υπερχείλιση, Εκροή, Απώλειες, Διήθηση και Παραγωγή Ενέργειας-[hm <sup>3</sup> ].....	126
Πίνακας 28: Στατιστικά Στοιχεία (μέση τιμή, διάμεσος τιμή, μέγιστη και ελάχιστη τιμή) Χρονοσειράς Εισροής Q στον Ταμιευτήρα, Προσομοιωμένης από το UTHRL, κατά τη Χρονική Περίοδο 1960-2006-[hm <sup>3</sup> ] .....	128
Πίνακας 29: Μηνιαία και Ετήσια Αποτελέσματα Προσομοίωσης Ταμιευτήρα Κάρλας κατά την περίοδο 1960-2006: Αποθήκευση, Υπερχείλιση, Εκροή, Στάθμη και Εξάτμιση [hm <sup>3</sup> ] .....	129
Πίνακας 30: Στατιστικά Στοιχεία (μέση τιμή, διάμεσος τιμή, μέγιστη και ελάχιστη τιμή) Συνθετικής Χρονοσειράς Εισροής μετά από 100 Επαναλήψεις- Μέθοδος Πλησιέστερων k Γειτόνων [hm <sup>3</sup> ] .....	130

Πίνακας 31: Στατιστικά Στοιχεία (μέση τιμή, διάμεσος τιμή, μέγιστη και ελάχιστη τιμή) Συνθετικής Χρονοσειράς Εισροής μετά από 100 Επαναλήψεις- Μέθοδος PARMA(1,1) [ $\text{hm}^3$ ].....	131
Πίνακας 32: Έλεγχος Στατιστικών Τιμών (μέση τιμή, διάμεσος τιμή, μέγιστη και ελάχιστη τιμή) χρονοσειράς Q που προέκυψε από προσομοίωση στο UTHBAL και Συνθετικής Χρονοσειράς μετά από 100 Επαναλήψεις-- Μέθοδος Πλησιέστερων k Γειτόνων- Μέθοδος PARMA(1,1)- [ $\text{hm}^3$ ] .....	132
Πίνακας 33: Αποτελέσματα Ταμιευτήρα Κάρλας -Μέσες Μέσες, Ελάχιστες και Μέγιστες Ετήσιες Τιμές-Αποθήκευση, Εκροή, Υπερχείλιση , Εξάτμιση και Στάθμη (Μέθοδος Πλησιέστερων k Γειτόνων και Μέθοδος PARMA(1,1)) [ $\text{hm}^3$ ].....	133
Πίνακας 34: Στατιστικά Στοιχεία (μέση τιμή, διάμεσος τιμή, μέγιστη και ελάχιστη τιμή) Χρονοσειράς Εισροής Q στον Ταμιευτήρα, Προσομοιωμένης από το UTHRL, κατά τη Χρονική Περίοδο 1960-2006- Εναλλακτικό Σενάριο 1 [ $\text{hm}^3$ ] .....	137
Πίνακας 35: Αποτελέσματα Προσομοίωσης Ταμιευτήρα Κάρλας κατά την περίοδο 1960-2006: Αποθήκευση, Υπερχείλιση, Εκροή, Στάθμη και Εξάτμιση- Εναλλακτικό Σενάριο 1 .....	138
Πίνακας 36: Στατιστικά Στοιχεία (μέση τιμή, διάμεσος τιμή, μέγιστη και ελάχιστη τιμή) Συνθετικής Χρονοσειράς Εισροής μετά από 100 Επαναλήψεις- Μέθοδος Πλησιέστερων k Γειτόνων Εναλλακτικό Σενάριο 1 [ $\text{hm}^3$ ].....	140
Πίνακας 37: Στατιστικά Στοιχεία (μέση τιμή, διάμεσος τιμή, μέγιστη και ελάχιστη τιμή) Συνθετικής Χρονοσειράς Εισροής μετά από 100 Επαναλήψεις- Μέθοδος PARMA(1,1)- Εναλλακτικό Σενάριο 1 [ $\text{hm}^3$ ] .....	141
Πίνακας 38: Έλεγχος Στατιστικών Τιμών (μέση τιμή, διάμεσος τιμή, μέγιστη και ελάχιστη τιμή) χρονοσειράς Q που προέκυψε από προσομοίωση στο UTHBAL και Συνθετικής Χρονοσειράς μετά από 100 Επαναλήψεις- Μέθοδος Πλησιέστερων k Γειτόνων -Μέθοδος PARMA(1,1), Μηνιαίες και Ετήσιες Τιμές- Εναλλακτικό Σενάριο 1 [ $\text{hm}^3$ ].....	142
Πίνακας 39: Αποτελέσματα Αρχικής Προσομοίωσης , Δεδομένα Ιστορικής Χρονοσειράς Πρώτου Εναλλακτικού Σεναρίου και Αποτελέσματα Προσομοίωσης Πρώτου Εναλλακτικού Σεναρίου Ταμιευτήρα Κάρλας - Μέθοδος Πλησιέστερων k Γειτόνων και PARMA(1,1): Αποθήκευση, Υπερχείλιση, Εκροή, Εξάτμιση και Στάθμη .....	144
Πίνακας 40: Στατιστικά Στοιχεία (μέση τιμή, διάμεσος τιμή, μέγιστη και ελάχιστη τιμή) Χρονοσειράς Εισροής Q στον Ταμιευτήρα, Προσομοιωμένης από το UTHRL, κατά τη Χρονική Περίοδο 1960-2006 .....	148
Πίνακας 41: Μηνιαία και Ετήσια Αποτελέσματα Προσομοίωσης Ταμιευτήρα Κάρλας κατά την περίοδο 1960-2006: Αποθήκευση, Υπερχείλιση, Εκροή, Στάθμη και Εξάτμιση-Εναλλακτικό Σενάριο 2 [ $\text{hm}^3$ ].....	149

Πίνακας 42: Στατιστικά Στοιχεία (μέση τιμή, διάμεσος τιμή, μέγιστη και ελάχιστη τιμή) Συνθετικής Χρονοσειράς Εισροής μετά από 100 Επαναλήψεις- Μέθοδος Πλησιέστερων k Γειτόνων-Εναλλακτικό Σενάριο 2 [ $\text{hm}^3$ ] .....	151
Πίνακας 43: Στατιστικά Στοιχεία (μέση τιμή, διάμεσος τιμή, μέγιστη και ελάχιστη τιμή) Συνθετικής Χρονοσειράς Εισροής μετά από 100 Επαναλήψεις- Μέθοδος PARMA(1,1) -Εναλλακτικό Σενάριο 2 [ $\text{hm}^3$ ] .....	152
Πίνακας 44: Έλεγχος Στατιστικών Τιμών (μέση τιμή, διάμεσος τιμή, μέγιστη και ελάχιστη τιμή) χρονοσειράς Q που προέκυψε από προσομοίωση στο UTHBAL και Συνθετικής Χρονοσειράς μετά από 100 Επαναλήψεις- Μέθοδος Πλησιέστερων k Γειτόνων -Μέθοδος PARMA(1,1), Μηνιαίες και Ετήσιες Τιμές-Εναλλακτικό Σενάριο 2 [ $\text{hm}^3$ ].....	153
Πίνακας 45: Αποτελέσματα Αρχικής Προσομοίωσης , Δεδομένα Ιστορικής Χρονοσειράς Δεύτερου Εναλλακτικού Σεναρίου και Αποτελέσματα Προσομοίωσης Δεύτερου Εναλλακτικού Σεναρίου Ταμιευτήρα Κάρλας - Μέθοδος Πλησιέστερων k Γειτόνων και PARMA(1,1): Αποθήκευση, Υπερχείλιση, Εκροή, Εξάτμιση και Στάθμη .....	154
Πίνακας 46: Αποτελέσματα Ταμιευτήρα Σμοκόβου-Αποθήκευση, Υπερχείλιση, Εκροή, Απώλειες, Διήθηση και Παραγωγή Ενέργειας- $[\text{hm}^3]$ .....	161
Πίνακας 47: Μηνιαίες και Ετήσιες Τιμές Μεγεθών Ταμιευτήρα Σμοκόβου-Αποθήκευση, Υπερχείλιση, Εκροή, Απώλειες, Διήθηση και Παραγωγή Ενέργειας- $[\text{hm}^3]$ .....	161
Πίνακας 48: Στατιστικά Στοιχεία (μέση τιμή, διάμεσος τιμή, μέγιστη και ελάχιστη τιμή) Ιστορικής Χρονοσειράς Εισροής Q στον Ταμιευτήρα κατά τη Χρονική Περίοδο 1968-1994- $[\text{hm}^3]$ .....	163
Πίνακας 49: Μηνιαία και Ετήσια Αποτελέσματα Προσομοίωσης Ταμιευτήρα Σμοκόβου κατά την περίοδο 1968-1994: Αποθήκευση, Υπερχείλιση, Εκροή, Στάθμη και Εξάτμιση- $[\text{hm}^3]$ .....	164
Πίνακας 50: Στατιστικά Στοιχεία (μέση τιμή, διάμεσος τιμή, μέγιστη και ελάχιστη τιμή) Συνθετικής Χρονοσειράς Εισροής μετά από 100 Επαναλήψεις- Μέθοδος Πλησιέστερων k Γειτόνων- $[\text{hm}^3]$ .....	165
Πίνακας 51: Στατιστικά Στοιχεία (μέση τιμή, διάμεσος τιμή, μέγιστη και ελάχιστη τιμή) Συνθετικής Χρονοσειράς Εισροής που προέκυψε από 100 Επαναλήψεις- Μέθοδος PARMA(1,1)- $[\text{hm}^3]$ .....	166
Πίνακας 52: Έλεγχος Στατιστικών Τιμών (μέση τιμή, διάμεσος τιμή, μέγιστη και ελάχιστη τιμή) Ιστορικής Χρονοσειράς Q και Συνθετικής Χρονοσειράς που προέκυψε από 100 Επαναλήψεις- Μέθοδος Πλησιέστερων k Γειτόνων -Μέθοδος PARMA(1,1) $[\text{hm}^3]$ .....	167



Πίνακας 53: Αποτελέσματα Ταμιευτήρα Γυρτώνης -Μέσες Μέσες, Ελάχιστες και Μέγιστες Ετήσιες Τιμές-Αποθήκευση, Εκροή, Υπερχείλιση , Εξάτμιση και Στάθμη (Μέθοδος Πλησιέστερων k Γειτόνων και Μέθοδος PARMA(1,1)) [ $\text{hm}^3$ ].....	168
Πίνακας 54: Απορροή Γυρτώνης [ $\text{hm}^3$ ].....	180
Πίνακας 55: Εξάτμιση [mm].....	181
Πίνακας 56: Οικολογική παροχή Γυρτώνης [ $\text{hm}^3$ ].....	181
Πίνακας 57: Άρδευση Λάρισας- ΤΟΕΒ Πηνειού [ $\text{hm}^3$ ].....	182
Πίνακας 58: Αντλιοστάσιο Κάρλας [ $\text{hm}^3$ ].....	183
Πίνακας 59: Απορροή Σμοκόβου [ $\text{hm}^3$ ].....	184
Πίνακας 60: Εξάτμιση [mm].....	185
Πίνακας 61: Άρδευση [ $\text{hm}^3$ ].....	185
Πίνακας 62: Ύδρευση [ $\text{hm}^3$ ].....	186
Πίνακας 63: Οικολογική Παροχή [ $\text{hm}^3$ ].....	186
Πίνακας 64: Λεκάνη Απορροής Κάρλας [ $\text{hm}^3$ ].....	187
Πίνακας 65: Απορροή στην Κάρλα [ $\text{hm}^3$ ] – Σενάριο 1.....	188
Πίνακας 66: Απορροή στην Κάρλα [ $\text{hm}^3$ ] – Σενάριο 2.....	189
Πίνακας 67: Απορροή στην Κάρλα [ $\text{hm}^3$ ] – Σενάριο 3.....	190
Πίνακας 68: Εξάτμιση (πολλαπλασιασμός x1.3) [mm].....	191
Πίνακας 69: Αντλιοστάσιο Κάρλας [ $\text{hm}^3$ ].....	192

## Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1: Εννοιολογικό μοντέλο ενός συστήματος κατανομής νερού ταμιευτήρα προς προσομοίωση.....	40
Σχήμα 2: Πολιτική λειτουργίας δεξαμενής που ορίζει την εκροή του ταμιευτήρα ως συνάρτηση του τρέχοντος όγκου αποθήκευσης και πολιτική κατανομής για τη ροή του ποταμού κατάντη του ταμιευτήρα. Η μπλε ζώνη στην πολιτική λειτουργίας του ταμιευτήρα υποδεικνύει τη ζώνη των εφικτών εκροών. Είναι φυσικά αδύνατο να γίνουν εκροές που παριστάνονται από σημεία εκτός αυτής της μπλε ζώνης. ....	41
Σχήμα 3: Διάγραμμα ροής της διαδικασίας προσομοίωσης του συστήματος ταμιευτήρα-κατανομής χρηστών. Η προσομοίωση τερματίζεται μετά από κάποιο προκαθορισμένο αριθμό χρονικών βημάτων της προσομοίωσης.....	42
Σχήμα 4: Διαφορές προσομοίωσης και βελτιστοποίησης. Η προσομοίωση απαντά στη ερώτηση "τι γίνεται αν" , η βελτιστοποίηση μπορεί να απαντήσει στην ερώτηση "τι	

πρέπει να γίνει". Και οι δύο τύποι μοντέλων χρησιμοποιούνται συνήθως στις μελέτες σχεδιασμού και διαχείρισης υδάτινων πόρων.....	47
Σχήμα 5: Διάταξη R-Studio: Τα παράθυρα του επεξεργαστή κειμένου (editor), του χώρου εργασίας (workspace), της κονσόλας (console) και των γραφικών παραστάσεων (plots) στο RStudio. ....	51
Σχήμα 6: Υφιστάμενα έργα απολήψεων του Τ.Ο.Ε.Β. Πηνειού .....	72
Σχήμα 7: Λογικό διάγραμμα συνάρτησης sim.....	87
Σχήμα 8: Σχηματοποίηση Περιοχής Γυρτώνης .....	109
Σχήμα 9: Διάγραμμα Υδατικού Ισοζυγίου Γυρτώνης.....	113
Σχήμα 10: Σχηματοποίηση Περιοχής Κάρλας .....	123
Σχήμα 11: Διάγραμμα Υδατικού Ισοζυγίου Κάρλας .....	126
Σχήμα 12: Σχηματοποίηση Περιοχής Σμοκόβου .....	158
Σχήμα 13: Διάγραμμα Υδατικού Ισοζυγίου Σμοκόβου .....	161

## **Κατάλογος Χαρτών**

Χάρτης 1: Υδατικό διαμέρισμα Θεσσαλίας και λεκάνη απορροής του Πηνειού ποταμού.....	62
Χάρτης 2: Κύριες υπολεκάνες του Πηνειού ποταμού .....	62
Χάρτης 3: Χάρτης Ευρύτερης Περιοχής Θυροφράγματος Γυρτώνης .....	66
Χάρτης 4: Εξυπηρετούμενες εκτάσεις από τους ΤΟΕΒ Πηνειού και Κάρλας.....	71

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

### Εισαγωγή

Το έντονο πρόβλημα της διαχείρισης των υδατικών πόρων στην περιοχή της Θεσσαλίας σήμερα, επέφερε η αλόγιστη χρήση του κατά τη διάρκεια των προηγούμενων ετών. Το πρόβλημα αυτό αφορά στη μείωση της στάθμης των υπόγειων υδάτων που ήρθε ως επακόλουθο του τεράστιου όγκου απαιτήσεων σε αρδευτικό νερό, της ανεπαρκούς εκμετάλλευσης του επιφανειακού νερού και την ταυτόχρονη συνεχόμενη αύξηση της ζήτησης. Οι παραπάνω συνθήκες όχι μόνο συνετέλεσαν στην πρόκληση του προβλήματος της σαφούς μείωσης του υπόγειου υδατικού αποθέματος αλλά και ενίσχυσαν την περαιτέρω χρήση των υπόγειων νερών οδηγώντας σε υπερεκμετάλλευση. Για τον λόγο αυτό, οι παραγόμενες αρδευτικές ανάγκες παίζουν καθοριστικό ρόλο στα οικονομικά και κοινωνικοπολιτικά τεκταινόμενα της περιοχής. Αυτή η αύξηση πιέσεων στο υδατικό περιβάλλον καθιστά αναγκαία την εφαρμογή βιώσιμων πολιτικών ανάπτυξης και διαχείρισης των υδατικών πόρων από τους υδρολόγους και πολιτικούς μηχανικούς, μέσω σχεδιασμού, υλοποίησης και βέλτιστης λειτουργίας έργων υποδομής και παρεμβάσεων διαχείρισης τόσο της προσφοράς όσο και της ζήτησης,

Στα παραπάνω καλείται να συμβάλλει η επιστήμη της ανάλυσης δεδομένων και του προγραμματισμού, κλάδοι άρρηκτα συνδεδεμένοι με τη σύγχρονη επιστήμη του πολιτικού μηχανικού. Στην παρούσα εργασία επιλέχθηκε το πρόγραμμα RStudio, ως το πιο κατάλληλο για τη μελέτη συστημάτων υδατικών πόρων, για την προσομοίωση των ταμιευτήρων Γύρτωνης, Κάρλας και Σμοκόβου. Η προσομοίωση των υδάτινων συστημάτων, ως υπολογιστική μαθηματική τεχνική, βασίζεται στην πειραματική εφαρμογή συνθετικών χρονοσειρών σε ένα ταμιευτήρα και αποσκοπεί στον προσδιορισμό της ελάχιστης ωφέλιμης χωρητικότητας, ώστε να ικανοποιείται μια σταθερή ζήτηση, με δεδομένη χρονοσειρά εισροών και αρχικό όγκο σε μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Για τη γέννηση μεγάλου μήκους συνθετικών χρονοσειρών, οι οποίες αναπαράγουν τη στατιστική δομή και τα χαρακτηριστικά των ιστορικών δεδομένων, χρησιμοποιούνται στοχαστικά μοντέλα. Ως πιθανοτική-στοχαστική θεώρηση, χαρακτηρίζεται η θεώρηση των υδρολογικών διεργασιών ως τυχαίων μεταβλητών και η αντιμετώπισή τους με τη θεωρία πιθανοτήτων. Μέσω αυτής της διαδικασίας της χρήσης συνθετικών χρονοσειρών δίνεται η δυνατότητα

μελέτης της λειτουργίας των συστημάτων και ποσοτικοποιείται η αβεβαιότητα της διαθεσιμότητας του νερού παρέχοντας ένα δείκτη αξιολόγησης του συστήματος.

Η παρούσα εργασία αποτελεί ένα εγχείρημα συνδυασμού προγραμματισμού, ανάλυσης υδρολογικών μεγεθών και ανάλυσης δεδομένων με πεδίο εφαρμογής τρεις ταμιευτήρες στην περιοχή της Θεσσαλίας, Γυρτώνης, Κάρλας και Σμοκόβου. Αναλυτικότερα, πραγματοποιήθηκε προσομοίωση για ιστορικά και συνθετικά δεδομένα εισροής με χρήση του προγράμματος R-Studio με δεδομένα εισόδου την εισροή σε κάθε ταμιευτήρα και την εκτιμώμενη εκροή με βάση τις ζητήσεις κάθε περιοχής, ενώ δεν λήφθηκαν υπόψη ο διηθούμενος όγκος νερού και η λειτουργία υδροηλεκτρικών σταθμών. Πιο συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκε μια αρχική προσομοίωση για κάθε ταμιευτήρα με δεδομένες ιστορικές χρονοσειρές εισροής, χρησιμοποιώντας τα δυο πακέτα WRSS και Reservoir, και ακολούθησε η δημιουργία συνθετικών δεδομένων εφαρμόζοντας δυο μεθόδους παραγωγής συνθετικών χρονοσειρών, τη μέθοδο πλησιέστερων  $k$  γειτόνων και PARMA(1,1). Στη συνέχεια, ακολούθησε επόμενη προσομοίωση κάθε ταμιευτήρα για τα νέα συνθετικά δεδομένα. Σημειώνεται ότι στην περίπτωση του ταμιευτήρα Κάρλας μελετήθηκαν δυο επιπλέον εναλλακτικά σενάρια εισροής. Ειδικότερα, στην αρχική προσομοίωση του ταμιευτήρα Κάρλας, λήφθηκε ως εισροή το άθροισμα της ποσότητας νερού που εισέρχεται στον ταμιευτήρα λόγω βροχόπτωσης, του όγκου νερού της λεκάνης απορροής της Κάρλας και του νερού που εισέρχεται από το αντλιοστάσιο Κάρλας στον ποταμό Πηνειό, ενώ στο πρώτο εναλλακτικό σενάριο θεωρήθηκε μειωμένη εισροή κατά την ποσότητα βροχόπτωσης και στο δεύτερο εναλλακτικό σενάριο επίσης μειωμένη εισροή κατά την αντλούμενη από τον Πηνειό ποσότητα.

Στόχο της διπλωματικής που εκπονήθηκε αποτέλεσε η μοντελοποίηση του συστήματος κάθε ταμιευτήρα, η μελέτη της συμπεριφοράς του για ιστορικά και συνθετικά δεδομένα εισροής και, τέλος, η αξιολόγηση του συστήματος κάθε περιοχής με τη βοήθεια των στατιστικών τιμών αξιοπιστίας, ελαστικότητας και ευπάθειας που προέκυψαν. Επιπλέον, η εργασία αποσκοπεί στη σύγκριση των πακέτων και των δυο μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν.

Στα επόμενα κεφάλαια, παρουσιάζονται αναλυτικά τα βήματα που ακολουθήθηκαν. Το Κεφάλαιο 2 αποτελεί μια περιγραφή των φραγμάτων και των ταμιευτήρων, όπου παρουσιάζονται τα είδη τους, ο σκοπός κατασκευής του και τα στοιχεία κατασκευής

κάθε κατηγορίας. Στο Κεφάλαιο 3 επιχειρείται μια συνοπτική θεωρητική παρουσίαση της των μοντέλων προσομοίωσης και της διαδικασίας βελτιστοποίησης των συστημάτων υδατικών πόρων, καθώς και του προγράμματος και των πακέτων WRSS και Reservoir που χρησιμοποιήθηκαν για την υλοποίηση της εργασίας. Ακολουθεί το Κεφάλαιο 4 με την αναλυτική περιγραφή της ευρύτερης περιοχής μελέτης της Θεσσαλίας με έμφαση στις περιοχές Γυρτώνης, Κάρλας και Σμοκόβου που μελετήθηκαν, και το Κεφάλαιο 5 όπου παρουσιάζεται η εφαρμογή της μεθοδολογίας. Αναλυτικότερα, στο Κεφάλαιο 5 αναλύεται η διαδικασία δημιουργίας των περιοχών μελέτης στην R και οι μέθοδοι προσομοίωσης και λειτουργίας ταμιευτήρα, παρουσιάζονται οι μέθοδοι δημιουργίας συνθετικών χρονοσειρών που εφαρμόστηκαν (μέθοδος πλησιέστερων k γειτόνων και PARMA(1,1) ) και η περιγραφή των στατιστικών στοιχείων αξιοπιστίας, ελαστικότητας και ευπάθειας που χρησιμοποιήθηκαν για την αξιολόγηση του συστήματος. Τέλος το Κεφάλαιο 6 περιλαμβάνει τα αποτελέσματα της εκτέλεσης του κώδικα ανά περιοχή και τα συμπεράσματα της διαδικασίας παρατίθενται στο Κεφάλαιο 7.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2**

### **Ταμιευτήρες και Φράγματα: Κατηγορίες, Χρησιμότητα και Κατασκευαστικά Στοιχεία**

**Ορισμός και Είδη:** Φράγματα ονομάζονται οι κατασκευές εκείνες που είναι τοποθετημένες εγκάρσια σε μια διατομή ενός υδατορρέυματος με σκοπό είτε την ανακοπή της φυσικής ροής του ποταμού με συνέπεια τη δημιουργία ενός ταμιευτήρα, δηλαδή μιας τεχνητής λίμνης, είτε με την ανύψωση της στάθμης του νερού στη διατομή<sup>1</sup>. Η Διεθνής Επιτροπή Μεγάλων Φραγμάτων (ICOLD) έχει ορίσει ως φράγματα τις κατασκευές ύψους 15m και άνω ανεξαρτήτως της χωρητικότητας<sup>2</sup>. Όσο μεγαλύτερη είναι η αναλογία αποθηκευμένου όγκου— όγκου του σώματος του φράγματος, τόσο αποδοτικότερη είναι η κατασκευή του φράγματος.

Τα φράγματα της πρώτης κατηγορίας δημιουργίας ταμιευτήρα καλούνται φράγματα αποθήκευσης και αποσκοπούν στην αποθήκευση μεγάλων ποσοτήτων νερού και κατ’

---

<sup>1</sup>Τσακίρης 2010, 530

<sup>2</sup>Τσακίρης 2010, 530

επέκταση στη ρύθμιση της ροής του νερού προς τα κατάντη. Συνεπώς, βοηθούν στη διαχείριση της εισερχόμενης ροής στον ταμιευτήρα και στην ορθή κατανομή στις επιμέρους ζητήσεις. Η δεύτερη κατηγορία ανύψωσης της στάθμης του νερού αφορά στα φράγματα εκτροπής το υλικό κατασκευής των οποίων είναι το σκυρόδεμα. Σε αυτή την περίπτωση, μέσω της ανύψωσης δίνεται η δυνατότητα εκτροπής του νερού και παροχή αυτού σε ένα δίκτυο άρδευσης με βαρύτητα, ενώ η ροή συνεχίζεται με υπερχειλίση<sup>3</sup>.

Τα φράγματα, συνεπώς, διακρίνονται ανάλογα με τη λειτουργία τους σε φράγματα αποθήκευσης, φράγματα ανύψωσης στάθμης και παροχέτευσης. Ακόμη, διακρίνονται ανάλογα με το σκοπό τους σε φράγματα για ύδρευση, άρδευση, παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και σε φράγματα που εξυπηρετούν παραπάνω από έναν σκοπό, τα φράγματα πολλαπλής σκοπιμότητας. Μια ακόμη διάκριση των φραγμάτων αφορά στην κατασκευή τους όπου συναντάμε το χωρισμό σε μόνιμα και κινητά. Τα μόνιμα χωρίζονται ανάλογα με το υλικό κατασκευής εύκαμπτα και σε φράγματα επίχωσης, με επιμέρους κατηγορίες που θα αναλυθούν παρακάτω, ενώ τα κινητά σε κατακλινόμενα και κατακόρυφα ανυψούμενα.

Η λεκάνη κατάκλυσης που δημιουργείται ανάντη του φράγματος, τα όρια της οποίας μεταβάλλονται ανάλογα με την αποθηκευμένη ποσότητα νερού ονομάζεται ταμιευτήρας<sup>4</sup>.

**Σκοπός Κατασκευής:** Σκοπό της κατασκευής ενός φράγματος αποτελούν κυρίως η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, οι αρδεύσεις καλλιεργήσιμων εκτάσεων, οι υδρεύσεις οικισμών, πόλεων και βιομηχανικών μονάδων και η αντιπλημμυρική προστασία. Δευτερευόντως, εξυπηρετούν και σκοπούς όπως η εκταμίευση νερού για πυρόσβεση, η διαμόρφωση πλωτών διωρύγων, η λειτουργία ιχθυοτροφείων, η ρύθμιση της παροχής των φυσικών ρευμάτων για προστασία των κατάντη περιοχών, η εξυπηρέτηση θερμοηλεκτρικών σταθμών (για τις ανάγκες ψύξης), ο εμπλουτισμός του υπόγειου υδάτινου ορίζοντα, η ναυσιπλοΐα και, τέλος, σκοπούς ψυχαγωγίας, τουρισμού άθλησης και βελτίωσης του περιβάλλοντα χώρου.

---

<sup>3</sup> Τσακίρης 2010, 530

<sup>4</sup> Ευστρατιάδης et. al. 2015. Υδραυλικές Κατασκευές-Φράγματα. Σημειώσεις Μαθήματος Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο ( [www.itia.ntua.gr/el/docinfo/1591/](http://www.itia.ntua.gr/el/docinfo/1591/) )

Τα φράγματα συχνά εξυπηρετούν παραπάνω από ένα σκοπούς και ονομάζονται φράγματα πολλαπλής σκοπιμότητας. Αξίζει να αναφερθούν ενδεικτικά φράγματα του ελληνικού χώρου όπως το φράγμα του Ταυρωπού της Καρδίτσας, με το οποίο γίνεται εκτροπή του νερού του ποταμού προς τη Θεσσαλία από τη φυσική πορεία προς τον Αχελώο με σκοπό την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (υδροηλεκτρικός σταθμός Ταυρωπού), την άρδευση και την ύδρευση της Καρδίτσας και των γύρων περιοχών. Ακόμη, μελετήθηκε εκτροπή μέρους της παροχής του Αχελώου στη Θεσσαλία με τη βοήθεια των φραγμάτων της Μεσοχώρας και της Συκιάς και της σήραγγας έκτροπης μήκους 18.5km, με το νερό να οδηγείται κατά την έξοδό του σε δυο τεχνητές λίμνες, που θα σχηματιστούν με την κατασκευή των φραγμάτων Πύλης και Μουζακίου.



(α)



(β)

Εικόνα 1: (α) Φράγμα Ταυρωπού<sup>5</sup>, (β) Φράγμα Μεσοχώρας<sup>6</sup>

**Στάδια Μελέτης Φράγματος:** Τα στάδια μελέτης ενός φράγματος είναι τα εξής 5:

- Αναγνωριστική Μελέτη: προσδιορίζονται οι ανάγκες και οι προοπτικές της κατασκευής καθώς και οι βοηθητικές εργασίες,
- Προκαταρκτική Μελέτη: διερευνούνται λύσεις ως προς τον τύπο του έργου, τη γενική διάταξη, το είδος του φράγματος και τη μορφή των συνοδευτικών έργων,
- Προμελέτη: διερευνούνται οι εναλλακτικές λύσεις της διάταξης του έργου και του τύπου του φράγματος, επιλέγεται και καθορίζεται η βέλτιστη

<sup>5</sup> [http://users.itia.ntua.gr/nikos/arx\\_int/CDfrag/reservoirs/tavropos\\_main.htm](http://users.itia.ntua.gr/nikos/arx_int/CDfrag/reservoirs/tavropos_main.htm)

<sup>6</sup> <https://www.dianeosis.org/2017/02/mesochora/>



τεχνικοοικονομικά λύση και ορίζονται τα βασικά προβλήματα για την υλοποίηση του έργου,

- Οριστική Μελέτη: επιλύονται τα προβλήματα που έχουν προσδιοριστεί στο στάδιο της προμελέτης, μετά από εκτέλεση επιπλέον ερευνών και μελετών, επιλύονται προβλήματα που αφορούν στην κατασκευή του έργου, συντάσσονται τα οριστικά σχέδια, τα σχέδια λεπτομερειών, και ειδικές Τεχνικές Προδιαγραφές για τις μεθόδους κατασκευής και τον έλεγχο της ποιότητας των υλικών<sup>7</sup>.

Επιπλέον, εκπονούνται ειδικές μελέτες στις οποίες συμπεριλαμβάνονται η τοπογραφική αποτύπωση, η υδρολογική μελέτη, η γεωλογική και υδρογεωλογική μελέτη, η μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων, η μελέτη σεισμικής επικινδυνότητας, η ενεργειακή μελέτη και η μελέτη προσδιορισμού άλλων χρήσεων νερού<sup>8</sup>.

Η επιλογή της θέσης ενός φράγματος γίνεται με βάση υδρολογικά-υδραυλικά στοιχεία, τοπογραφικά, μορφολογικά και γεωλογικά χαρακτηριστικά<sup>9</sup> για εξασφάλιση επιθυμητής αποθηκευτικής ικανότητας και αντοχής των τμημάτων του, κριτήρια ασφαλείας για την αποφυγή ανθρώπινων απωλειών και υλικών ζημιών και οικονομικά και περιβαλλοντικά δεδομένα για έλεγχο του κόστους και των επιπτώσεων στο φυσικό περιβάλλον. Κριτήρια επιλογής του είδους φράγματος αποτελούν τα στοιχεία γεωλογίας, υδρογεωλογίας, τοπογραφίας και σεισμικότητας της περιοχής, το κόστος των υλικών για συλλογή, παρασκευή, και μεταφορά, το κόστος των εργασιών και οι περιβαλλοντικοί περιορισμοί της ευρύτερης περιοχής. Παρακάτω, παρουσιάζονται αναλυτικά οι κατηγορίες των φραγμάτων.

**Κατηγορίες:** Τα φράγματα διακρίνονται με βάση το υλικό κατασκευής τους στις εξής κατηγορίες:

- *άκαμπτα φράγματα*: πρόκειται για φράγματα με άκαμπτα μέλη από μπετόν ή λιθοδομή<sup>10</sup>. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα φράγματα βαρύτητας, τα

---

<sup>7</sup> Μουτάφης, Ν.Ι. Υδραυλικές Κατασκευές-Φράγματα. Σημειώσεις Μαθήματος Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο  
(<https://ocw.aoc.ntua.gr/modules/document/file.php/CIVIL119/HS-D-01-Intro.pdf> )

<sup>8</sup> Μουτάφης, Ν.Ι. Υδραυλικές Κατασκευές-Φράγματα. Σημειώσεις Μαθήματος Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο  
(<https://ocw.aoc.ntua.gr/modules/document/file.php/CIVIL119/HS-D-01-Intro.pdf> )

<sup>9</sup> Τσακίρης 2010, 537-538

<sup>10</sup> Τσακίρης 2010, 531



αντιρηδωτά και τα τοξωτά φράγματα. Κατασκευάζονται συνήθως από σκυρόδεμα. Σημειώνεται ότι διακρίνονται και ανάλογα με τη στατική λειτουργία τους σε κατασκευές με άξονα ευθύγραμμο που διαιρούνται σε κατακόρυφα τμήματα στατικώς ανεξάρτητα και σε κατασκευές με καμπύλο άξονα με μονολιθική στατική λειτουργία ώστε οι τάσεις να μεταβιβάζονται στα ακροβάθρα<sup>11</sup>.

- *φράγματα επίχωσης*: ονομάζονται τα φράγματα που είναι κατασκευασμένα από χύδην υλικό<sup>12</sup>. Συγκεκριμένα, αποτελούνται από κυρίως σώμα με υλικό χώμα ή λιθορριπή, υδατοπερατό και από ένα κεντρικό πυρήνα αδιαπέρατο ή από ένα στρώμα αδιαπέρατο που τοποθετείται στην ανάντη πλευρά του φράγματος. Η απόλυτη στεγανότητα είναι αδύνατη λόγω της διαπερατότητας του πυρήνα. Οι εγκάρσιες διατομές έχουν τη μορφή τραπεζίου και οι κλίσεις των πρανών ανάντη και κατόντη είναι ίσες. Οι κύριες κατακόρυφες δυνάμεις σε ένα φράγμα επιχώσεως είναι το βάρος του νερού και η άνωση και η οριζόντια δύναμη είναι η συνισταμένη των πιέσεων. Εσωτερικές δυνάμεις, δυνάμεις λόγω σεισμού και λόγω πάγου είναι επιπλέον δρώσες δυνάμεις. Δεν απαιτούν σχηματισμούς θεμελίωσης εξαιρετικής. Τα χωμάτινα και τα λιθόρριπτα φράγματα περιλαμβάνονται σε αυτή την κατηγορία<sup>13</sup>.

#### **Είδη άκαμπτων φραγμάτων**

- Φράγματα Βαρύτητας: χωρίζονται ανάλογα με το υλικό κατασκευής σε φράγματα συμβατικού σκυροδέματος, κυλινδρούμενου σκυροδέματος (RCC) και κυλινδρούμενου σκληρού επιχώματος (συνήθως αξονοσυμμετρικά).
- Αντιρηδωτά Φράγματα
- Τοξωτά Φράγματα

#### **Είδη άκαμπτων φραγμάτων**

- Χωμάτινα (εδafικό υλικό): εδώ ανήκουν τα φράγματα με πυρήνα (διαζωνισμένο φράγμα) και τα φράγματα με ανάντη ασφατική μεμβράνη ή γεωμεμβράνη.

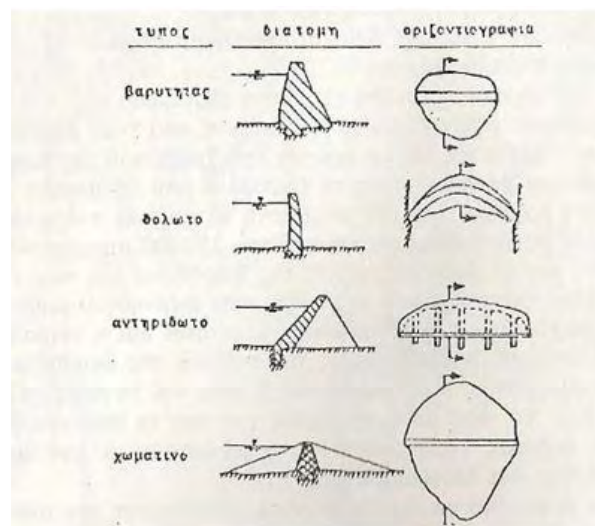
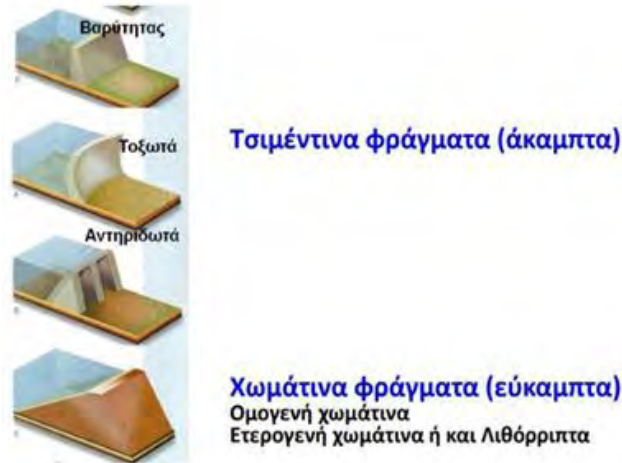
---

<sup>11</sup> Τσακίρης 2010, 546

<sup>12</sup> Τσακίρης 2010, 531

<sup>13</sup> Τσακίρης 2010, 551-552

- Λιθόρριπτα (βραχώδες υλικό): περιλαμβάνουν φράγματα με αργιλικό ή ασφαλτικό πυρήνα, φράγματα με ανάντη πλάκα σκυροδέματος και φράγματα με ανάντη ασφαλτική μεμβράνη ή γεωμεμβράνη.

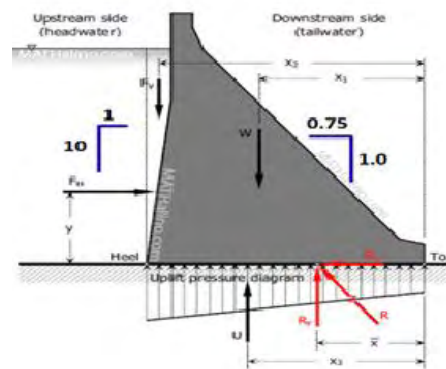


Εικόνα 2: Οι βασικοί τύποι φραγμάτων σε κάτοψη και διατομή<sup>14</sup>

*Φράγματα Βαρύτητας:* Η λειτουργία των φραγμάτων αυτών στηρίζεται στο βάρος τους με το οποίο αντισταθμίζουν τις υδροστατικές πιέσεις, την άνωση, τις σεισμικές φορτίσεις και τις δυνάμεις ανατροπής. Κατασκευάζονται κυρίως σε στενές κοιλάδες με υλικό κατασκευής άοπλο σκυρόδεμα ή κυλινδρούμενο σκυρόδεμα (RCC φράγματα- Roller Compacted Concrete). Η βάση του φράγματος είναι περίπου 0,7 x ύψος του φράγματος και το βασικό σχήμα τους είναι αυτό του διαγράμματος των

<sup>14</sup> Σιδηρόπουλος, Π. 2018. Ταμιευτήρες και Φράγματα. Σημειώσεις Μαθήματος Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

πιέσεων, δηλαδή τριγωνικό<sup>15</sup>. Υπάρχουν ωστόσο διάφορες παραλλαγές. Οι σημαντικότερες δυνάμεις που ασκούνται σε ένα τέτοιο φράγμα είναι το ίδιο βάρος, οι υδροστατικές πιέσεις, οι σεισμικές δυνάμεις λόγω αδράνειας του νερού και λόγω του βάρους του φράγματος και, τέλος, η δύναμη λόγω πάγου στην επιφάνεια του νερού. Δρουν επιπλέον, εσωτερικές δυνάμεις, δυνάμεις λόγω μεταβολής θερμοκρασίας, λόγω χημικών αντιδράσεων, επιπρόσθετα βάρη και αυξημένες πιέσεις του νερού λόγω υλός. Τα φράγματα βαρύτητας δεν ανατρέπονται και δεν ολισθαίνουν λόγω του ιδίου βάρους τους. Ως δυνάμεις ευστάθειας λειτουργούν το ίδιο βάρος της κατασκευής και το υπερκείμενο βάρος του νερού στην ανάντη παρειά, ενώ ως δυνάμεις ανατροπής, η υδροστατική πίεση (νερό ανάντη), η άνωση (περιορισμός με κουρτίνα τσιμεντενέσεων), οι ωθήσεις γαιών λόγω συσσώρευσης φερτών στον πυθμένα και τα οριζόντια σεισμικά φορτία<sup>16</sup>. Σε ότι αφορά στις τυπικές διατομές για την κατακόρυφη ανάντη παρειά έχουμε κλίση κατάντη παρειάς 1:0.80, για παρακατακόρυφη ανάντη παρειά κλίση 10:1, κλίση κατάντη 1:0.75 και αξονοσυμμετρικά, με κοινή κλίση των δύο παρειών 1:0.70<sup>17</sup>. Παραδείγματα φραγμάτων βαρύτητας αποτελούν το φράγμα του Μαραθώνα και της Πλατανόβρυσης.



Εικόνα 3: Φράγμα Βαρύτητας Πλατανόβρυση<sup>18</sup> (Νέστος) και Σχεδιασμός Δυνάμεων Φράγματος Βαρύτητας<sup>19</sup>

<sup>15</sup> Τσακίρης 2010, 547

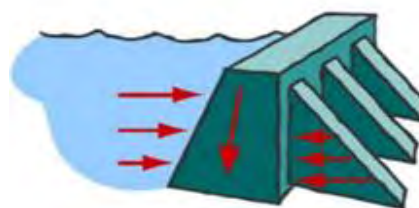
<sup>16</sup> Ευστρατιάδης et. al. 2014-15. Υδροηλεκτρικά Έργα. Σημειώσεις Μαθήματος Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο  
([http://users.itia.ntua.gr/dk/courses/yhe/slides/HW\\_15\\_Dams.pdf](http://users.itia.ntua.gr/dk/courses/yhe/slides/HW_15_Dams.pdf))

<sup>17</sup> Ευστρατιάδης et. al. 2014-15. Υδροηλεκτρικά Έργα. Σημειώσεις Μαθήματος Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο  
([http://users.itia.ntua.gr/dk/courses/yhe/slides/HW\\_15\\_Dams.pdf](http://users.itia.ntua.gr/dk/courses/yhe/slides/HW_15_Dams.pdf))

<sup>18</sup> <http://wikimapia.org/>

Σημειώνεται ότι το κυλινδρικό σκυρόδεμα (RCC) είναι ένας ειδικός τύπος σκυροδέματος με σημαντική συνοχή και υψηλή αντίσταση σε διάβρωση σε σχέση με συμπαγώνοντα εδαφικά υλικά. Ο συνδυασμός της συμπίκνωσης και της σύνδεσης των αδρανών λόγω της παρουσίας του τσιμέντου έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός νέου υλικού με σημαντικά πλεονεκτήματα. Αυτά είναι η υψηλή ταχύτητα κατασκευής, η σημαντική μείωση του κόστους λόγω αποφυγής χρήσης ξυλότυπων και οπλισμού, η ελαχιστοποίηση των απαιτήσεων ψύξης, δόνησης και διάστρωσης συμβατικού σκυροδέματος, η δυνατότητα χρήσης παραπροϊόντων βιομηχανίας (ιπτάμενες τέφρες, σκωρίες υψικαμίνων, φυσικές ποζολάνες), η δυνατότητα ενσωμάτωσης του υπερχειλιστή στο σώμα του φράγματος που παρέχει οικονομικά και λειτουργικά πλεονεκτήματα, και η καλή συμπεριφορά σε σεισμό<sup>20</sup>.

*Αντιρηδωτά φράγματα:* Είναι μια ειδική περίπτωση φράγματος βαρύτητας, με μειωμένο όγκο. Η επιφάνεια συγκράτησης του νερού σε αυτά ενισχύεται από μια σειρά υποστηρίγματος (αντηρίδες) με διεύθυνση παράλληλη στον άξονα του ρεύματος<sup>21</sup>. Η επιφάνεια στήριξης μπορεί να είναι επίπεδη ή καμπύλη. Μεταφέρουν υδροστατικές πιέσεις κυρίως στην επιφάνεια θεμελίωσης και λιγότερο στα αντερείσματα, ενώ σε σχέση με τα φράγματα βαρύτητας επιτυγχάνουν σημαντική οικονομία στον όγκο του απαιτούμενου σκυροδέματος.



Εικόνα 4: Φράγμα Daniel Johnson-Quebec Καναδάς<sup>22</sup> (ύψος 214m και μήκος 1314m) και Αντιρηδωτό Φράγμα<sup>23</sup>

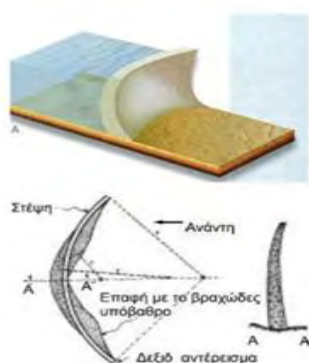
<sup>19</sup> Ευστρατιάδης et. al. 2014-15. Υδροηλεκτρικά Έργα. Σημειώσεις Μαθήματος Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο  
([http://users.itia.ntua.gr/dk/courses/yhe/slides/HW\\_15\\_Dams.pdf](http://users.itia.ntua.gr/dk/courses/yhe/slides/HW_15_Dams.pdf))

<sup>20</sup> Ευστρατιάδης et. al. 2014-15. Υδροηλεκτρικά Έργα. Σημειώσεις Μαθήματος Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο  
([http://users.itia.ntua.gr/dk/courses/yhe/slides/HW\\_15\\_Dams.pdf](http://users.itia.ntua.gr/dk/courses/yhe/slides/HW_15_Dams.pdf))

<sup>21</sup> Τσακίρης 2010, 550

<sup>22</sup> <https://photorator.com/photo/10292/daniel-johnson-dam-quebec-canada->

*Τοξωτά Φράγματα:* Τα φράγματα αυτά έχουν καμπύλη διατομή με την κυρτή επιφάνεια προς τα ανάντη. Κατασκευάζονται από άοπλο σκυρόδεμα υψηλής ποιότητας αλλά ενίοτε και οπλισμένο, και προτιμώνται σε στενές κοιλάδες τύπου V με σταθερά αντερίσματα. Όλες σχεδόν οι τάσεις μεταφέρονται στα ακροβάθρα και τη θεμελίωση. Επιβάλλουν πολύ μεγάλη φόρτιση στα αντερείσματα, που πρέπει να είναι από βραχώδη υλικά υψηλής αντοχής υψηλού μέτρου ελαστικότητας. Κατασκευάζονται με σταδιακά μειούμενη καμπύλωση από τη στέψη προς τη βάση<sup>24</sup>.



(α)



(β)

Εικόνα 5: (α)Τοξωτό Φράγμα<sup>25</sup>, (β) Φράγμα Πλαστήρα<sup>26</sup>

Η μεταφορά φορτίων γίνεται με λειτουργία του φορέα ως τόξο στα αντερείσματα, πρόβολος στη θεμελίωση και κέλυφος (αντερείσματα και θεμελίωση)<sup>27</sup>. Αυτή η λειτουργία ως τόξου επικρατεί της λειτουργίας ως προβόλου και για αυτό το ίδιο βάρος δεν παίζει σημαντικό ρόλο στην κατασκευή. Σε σχέση με τα φράγματα βαρύτητας επιτυγχάνεται οικονομία στον όγκο του σκυροδέματος έως και 70%. Ο λόγος  $b/h$  δίνει την κατάταξη σε λεπτά μεσαία και παχέα με  $b/h < 0.2$  στην πρώτη

<sup>23</sup> Σιδηρόπουλος, Π. 2018. Ταμιευτήρες και Φράγματα. Σημειώσεις Μαθήματος Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

<sup>24</sup> Ευστρατιάδης et. al. 2014-15. Υδροηλεκτρικά Έργα. Σημειώσεις Μαθήματος Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο  
([http://users.itia.ntua.gr/dk/courses/yhe/slides/HW\\_15\\_Dams.pdf](http://users.itia.ntua.gr/dk/courses/yhe/slides/HW_15_Dams.pdf))

<sup>25</sup> Σιδηρόπουλος, Π. 2018. Ταμιευτήρες και Φράγματα. Σημειώσεις Μαθήματος Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

<sup>26</sup> [www.plastiras-ota.gr/building/fragma/](http://www.plastiras-ota.gr/building/fragma/)

<sup>27</sup> Ευστρατιάδης et. al. 2014-15. Υδροηλεκτρικά Έργα. Σημειώσεις Μαθήματος Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο  
([http://users.itia.ntua.gr/dk/courses/yhe/slides/HW\\_15\\_Dams.pdf](http://users.itia.ntua.gr/dk/courses/yhe/slides/HW_15_Dams.pdf))



περίπτωση,  $0.2 < b/h < 0.3$  στη δεύτερη, και  $b/h > 0.3$  στην τρίτη<sup>28</sup>. Όταν το πάχος τους είναι μεγάλο λειτουργούν εν μέρει και ως φράγματα βαρύτητας (βαρύτητας- τοξωτά).

*Χωμάτινα Φράγματα:* Το μεγαλύτερο μέρος της διατομής των χωμάτινων φραγμάτων είναι κατασκευασμένο από έδαφος ή υδατοπερατή λιθορριπή καλής στατικής συμπεριφοράς και ένα κεντρικό τμήμα αργιλώδους υλικού ελάχιστης διαπερατότητας και μειωμένης στατικής συμπεριφοράς<sup>29</sup>. Ένας ακόμη τύπος χωμάτινου φράγματος είναι η κατασκευή όλου του σώματος από υδατοπερατό υλικό σε συνδυασμό με τοποθέτηση πλακών τσιμέντου, ατσάλινων φύλλων ή συνθετικών υλικών για εξασφάλιση της στεγανότητας. Βασικό κριτήριο σχεδιασμού αποτελεί η βέλτιστη αξιοποίηση των υλικών που βρίσκονται στην ευρύτερη περιοχή ή πλησίον του έργου για οικονομικός σχεδιασμός με χρήση δανειοθαλάμων. Το υλικό λαμβάνεται από αυτούς, διαστρώνεται σε στρώσεις 0.3- 0.5m και συμπυκνώνεται. Το ελάχιστο πλάτος στέψης είναι 3m, το ύψος περίπου 1.5m, το ύψος καθίζησης 1-5% του συνολικού ύψους και η κλίση πρανών 1.5-7<sup>30</sup>. Τα τμήματα ενός χωμάτινου φράγματος παρουσιάζονται στην παρακάτω εικόνα. Παράδειγμα χωμάτινου φράγματος είναι αυτό του Ιλαρίωνα (Αλιάκμονας).



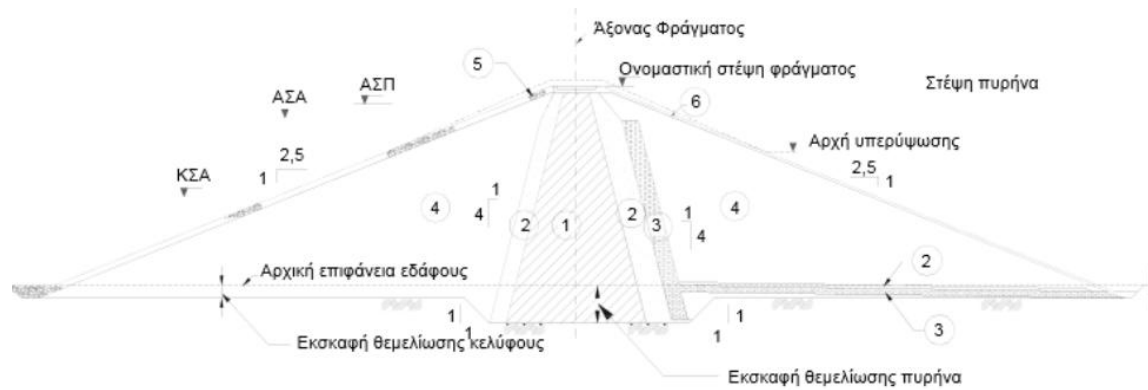
Εικόνα 6: Χωμάτινο Φράγμα Ιλαρίωνα<sup>31</sup>

<sup>28</sup> Τσακίρης 2010, 550

<sup>29</sup> Τσακίρης 2010, 552

<sup>30</sup> Τσακίρης 2010, 552

<sup>31</sup> [www.visit-msv.gr/?place=φράγμα-λίμνη-ιλαρίωνος](http://www.visit-msv.gr/?place=φράγμα-λίμνη-ιλαρίωνος)



Εικόνα 7: Τυπική Διατομή Χωμάτινου Φράγματος με Κεντρικό Πυρήνα  
(διαζωνισμένο φράγμα)<sup>32</sup>

- 1) Πυρήνας (λεπτόκοκκο, χαμηλής διαπερατότητας αργιλικό υλικό)
- 2) Φίλτρο (διαβαθμισμένο αμμώδες υλικό)
- 3) Στραγγιστήριο (διαβαθμισμένο υλικό από χαλίκια ή κροκάλες)
- 4) Κελύφη (αμμοχάλικα, κορήματα, κερματισμένος βράχος)
- 5) Ανάντη ζώνη προστασίας (προστασία από κυματισμό)
- 6) Κατάντη ζώνη προστασίας (προστασία από βροχή)

*Λιθόρριπτα φράγματα (ετερογενή):* Ονομάζονται τα φράγματα που έχουν ως υλικό κατασκευής χύδην υλικό όπως γαιώδες υλικό ή κροκάλες. Η μεγάλη διαπερατότητα των υλικών αυτών οδηγεί στην ανάγκη τοποθέτησης αδιαπέρατου τάπητα στο ανάντη πρανές ή αργιλικού πυρήνα στον άξονα του φράγματος ή κεκλιμένου στην ανάντη ζώνη<sup>33</sup>. Μια ικανοποιητική θεμελίωση σε συνδυασμό με μια μεγαλύτερη των 45 μοιρών γωνία εσωτερικής τριβής, καθιστά το φράγμα ασφαλές όσον αφορά την ολίσθηση. Τα βασικά τμήματα των λιθόρριπτων φραγμάτων είναι το συμπυκνωμένο επίχωμα από λιθορριπή ή αμμοχάλικα, η πλάκα οπλισμένου σκυροδέματος μεταβαλλόμενου πάχους ανάλογα με το ύψος νερού και ειδικά σχεδιασμένους κατακόρυφους αρμούς και η πλίνθος από οπλισμένο σκυρόδεμα, εδραζόμενη σε υγιή

<sup>32</sup> Ευστρατιάδης et. al. 2014-15. Υδροηλεκτρικά Έργα. Σημειώσεις Μαθήματος Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο  
([http://users.itia.ntua.gr/dk/courses/yhe/slides/HW\\_15\\_Dams.pdf](http://users.itia.ntua.gr/dk/courses/yhe/slides/HW_15_Dams.pdf))

<sup>33</sup> Τσακίρης 2010, 554

βράχο, πλάτους ανάλογα με το υδραυλικό φορτίο και αρμός πλίνθου-πλάκας για την παραλαβή των παραμορφώσεων<sup>34</sup>.

### **Χαρακτηριστικά Μεγέθη Φράγματος:**

*Νεκρός Όγκος ή Αδρανής Χωρητικότητα (VN):* Ως νεκρός όγκος ορίζεται ο όγκος που αποθηκεύεται από τον πυθμένα του ποταμού μέχρι μια ελάχιστη στάθμη λειτουργίας, η οποία καθορίζει τη στάθμη υδροληψίας του ταμιευτήρα. Το νερό πρέπει να υπερβαίνει την ελάχιστη στάθμη ώστε να θεωρείται κανονική η λειτουργία του ταμιευτήρα. Στον όγκο αυτό εναποτίθενται τα φερτά υλικά της διάβρωσης που λαμβάνει χώρα στην λεκάνη απορροής, εξαιτίας του μηδενισμού της ταχύτητας της ροής. Συνεπώς, ο νεκρός όγκος υπολογίζεται από τον όγκο των φερτών υλικών που προβλέπεται να συσσωρευτούν κατά τη διάρκεια ζωής ή λειτουργίας του ταμιευτήρα, ο οποίος λαμβάνεται ίσος με 50έτη<sup>35</sup>.

*Ωφέλιμος Αποθηκευτικός Όγκος ή Χωρητικότητα (VΩ):* Ο όγκος μεταξύ της ελάχιστης και της κανονικής στάθμης λειτουργίας ονομάζεται ωφέλιμος αποθηκευτικός όγκος ή χωρητικότητα. Κανονική στάθμη λειτουργίας ονομάζεται η μέγιστη στάθμη που μπορεί να φθάσει η ελεύθερη επιφάνεια του νερού (καθρέπτης) υπό συνηθισμένες συνθήκες λειτουργίας του ταμιευτήρα και καθορίζει το μέγιστο όγκο νερού που πρόκειται να αποθηκευτεί για να καλύψει τους σκοπούς λειτουργίας του ταμιευτήρα.

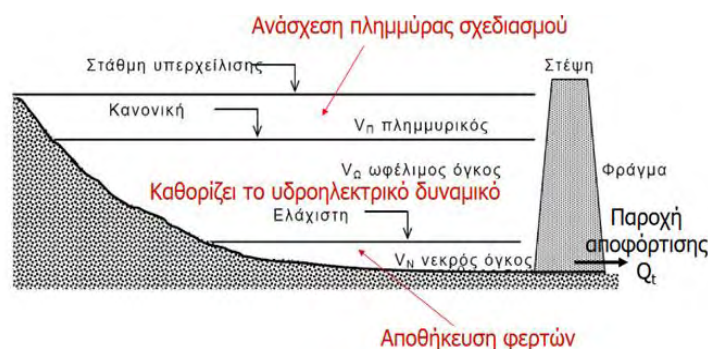
*Πλημμυρικός Όγκος (VΠ):* Ο όγκος μεταξύ της κανονικής στάθμης λειτουργίας και της στάθμης υπερχειλίσσης ονομάζεται πλημμυρικός όγκος και είναι ο όγκος στον οποίο γίνεται η ανάσχεση της πλημμύρας σχεδιασμού του υπερχειλιστή του φράγματος. Ως στάθμη υπερχειλίσσης ορίζεται η ανώτατη στάθμη που προβλέπεται ότι θα φθάσει το νερό κατά τη διάρκεια της αναμενόμενης πλημμύρας σχεδιασμού για την οποία παρέχει ασφάλεια στο φράγμα ο υπερχειλιστής. Έτσι η στάθμη υπερχειλίσσης ορίζει τη στέψη του υπερχειλιστή στην περίπτωση που ο υπερχειλιστής είναι ελεύθερας ροής. Πάνω από τη στάθμη υπερχειλίσσης προστίθεται ένα ελεύθερο ύψος ασφαλείας το οποίο ορίζει το υψόμετρο στέψης του φράγματος. Αν η ροή του υπερχειλιστή ρυθμίζεται με θυροφράγματα, ο μέγιστος πλημμυρικός όγκος δεν παραμένει μόνιμα κενός, σε αναμονή του πλημμυρικού γεγονότος σχεδιασμού, αλλά

<sup>34</sup> Ευστρατιάδης et. al. 2014-15. Υδροηλεκτρικά Έργα. Σημειώσεις Μαθήματος Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο  
([http://users.itia.ntua.gr/dk/courses/yhe/slides/HW\\_15\\_Dams.pdf](http://users.itia.ntua.gr/dk/courses/yhe/slides/HW_15_Dams.pdf))

<sup>35</sup> Σιδηρόπουλος, Π. 2018. Ταμιευτήρες και Φράγματα. Σημειώσεις Μαθήματος Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας



χρησιμοποιείται για διάφορους λόγους αποθήκευσης νερού, ιδιαίτερα σε περιόδους που η διακινδύνευση εμφάνισης της πλημμύρας σχεδιασμού είναι ασήμαντη. Τότε, το υψόμετρο της στέψης του υπερχειλιστή είναι μικρότερο από αυτό που καθορίζεται από τη στάθμη υπερχειλίσης, ενώ η μέγιστη στάθμη λειτουργίας και ο ωφέλιμος όγκος του ταμιευτήρα μεταβάλλονται εποχιακά<sup>36</sup>.



Εικόνα 8: Χαρακτηριστικοί όγκοι και στάθμες ταμιευτήρα<sup>37</sup>

*Καμπύλες Στάθμης-Χωρητικότητας και Στάθμης- Επιφανείας:* Οι καμπύλες αυτές καθορίζουν τα φυσικά χαρακτηριστικά ενός ταμιευτήρα και δίνονται συνήθως στο ίδιο σχήμα. Συγκεκριμένα, οι καμπύλες χωρητικότητας δίνουν την χωρητικότητα του ταμιευτήρα σε κάθε στάθμη θεωρώντας σημείο αναφοράς τη στάθμη της θάλασσας, ενώ οι καμπύλες επιφανείας δίνουν την επιφάνεια του νερού που αντιστοιχεί σε κάθε στάθμη<sup>38</sup>. Οι τιμές τις επιφάνειας προκύπτουν από μέτρηση του εμβαδού σε κάθε ισοϋψή σε τοπογραφικούς χάρτες, κλίμακας 1:50000 ως 1:5000 ανάλογα με το είδος του έργου, και ο υπολογισμός του αντίστοιχου όγκου γίνεται με ολοκλήρωση της σχέσης στάθμης-επιφανείας ως εξής:  $V = \int_{h_1}^{h_2} A dh$ , όπου V είναι ο όγκος νερού που αντιστοιχεί σε υψόμετρο h και όπου A η αντίστοιχη επιφάνεια του ταμιευτήρα<sup>39</sup>. Η ρυθμιστική ικανότητα του ταμιευτήρα εξαρτάται από τη χωρητικότητα και την επιφάνεια στις χαρακτηριστικές στάθμες: ελάχιστη στάθμη ταμιευτήρα, ελάχιστη στάθμη λειτουργίας, στάθμη κανονικής λειτουργίας και στάθμη υπερχειλίσης. Αν ορίσουμε ως s τη μεταβολή του μικτού αποθέματος του ταμιευτήρα (χωρητικότητα)

<sup>36</sup> Σιδηρόπουλος, Π. 2018. Ταμιευτήρες και Φράγματα. Σημειώσεις Μαθήματος Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

<sup>37</sup> Σιδηρόπουλος, Π. 2018. Ταμιευτήρες και Φράγματα. Σημειώσεις Μαθήματος Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

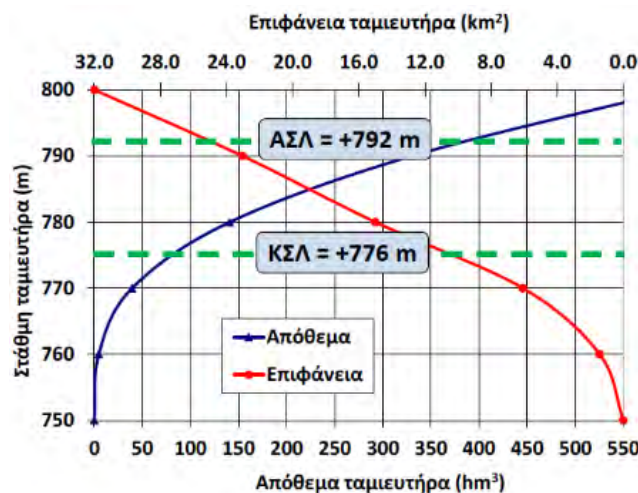
<sup>38</sup> Τσακίρης 2010, 554

<sup>39</sup> Τσακίρης 2010, 554

και α τη μεταβολή της επιφάνειας της λεκάνης κατάκλυσης συναρτήσει της στάθμης z του νερού στον ταμιευτήρα, οι συναρτήσεις s και a, ως συναρτήσεις του z, θα εκφράζονται σε ζεύγη τιμών (z<sub>i</sub>, a<sub>i</sub>) που προκύπτουν από την εμβαδομέτρηση. Τότε η σχέση επιφάνειας-στάθμης, θεωρείτε σχέση δύναμης:  $a(z) = a_1 * \left(\frac{z-z_0}{z_1-z_0}\right)^\lambda$ , όπου a<sub>1</sub> η επιφάνεια του ταμιευτήρα σε δεδομένη στάθμη, z<sub>0</sub> η κατώτερη στάθμη του ταμιευτήρα για την οποία μηδενίζεται η επιφάνεια και λ συντελεστής<sup>40</sup>. Η τιμή του συντελεστή λ για κάθε διαδοχικό ζεύγος (z<sub>1</sub>, a<sub>1</sub>), (z<sub>2</sub>, a<sub>2</sub>), η τιμή δίνεται από τη σχέση:

$\lambda = \frac{\ln\left(\frac{a_2}{a_1}\right)}{\ln\left[\frac{z_2-z_0}{z_1-z_0}\right]}$ , και ο όγκος Δs που περικλείεται ανάμεσα στις στάθμες z<sub>1</sub> και z<sub>2</sub> είναι:

$\Delta s = \int_{z_1}^{z_2} a(z) dz = \frac{(z_2-z_0)a_2 - (z_1-z_0)a_1}{\lambda+1}$ . Η σχέση s=f(z) κατασκευάζεται με βάση τον γνωστό όγκο Δs που περικλείεται μεταξύ κάθε ζεύγους διαδοχικών σταθμών (z<sub>1</sub>, z<sub>2</sub>) και αντίστοιχων επιφανειών (a<sub>1</sub>, a<sub>2</sub>). Εναλλακτικά, η σχέση s παράγεται με διαδοχικές γραμμικές παρεμβολές:  $\Delta s = \frac{(a_2+a_1)(z_2-z_1)}{2}$ <sup>41</sup>.



Διάγραμμα 1: Παράδειγμα Καμπύλες Στάθμης-Αποθέματος-Επιφάνειας Ταμιευτήρα Πλαστήρα<sup>42</sup>

**Διαχείριση Ταμιευτήρων και Μεθοδολογίες:** Η διαχείριση των υδάτινων πόρων αποτελεί ένα ιδιαίτερα έντονο πρόβλημα στις μέρες μας, εξαιτίας της υπερβολικής απόληψης γλυκού νερού από ποτάμια, λίμνες και υπόγειους υδροφορείς, με

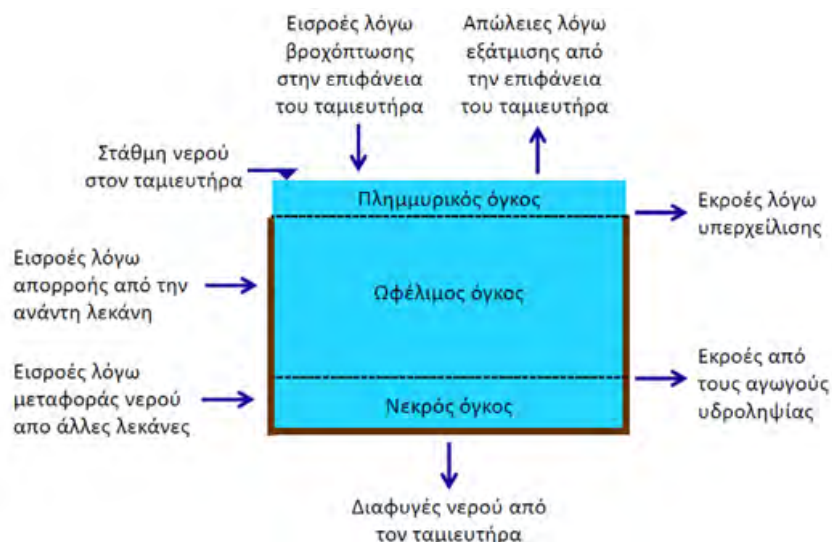
<sup>40</sup> Ευστρατιάδης et. al. 2015. Υδραυλικές Κατασκευές-Φράγματα. Σημειώσεις Μαθήματος Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο ( [www.itia.ntua.gr/el/docinfo/1591/](http://www.itia.ntua.gr/el/docinfo/1591/) )

<sup>41</sup> Ευστρατιάδης et. al. 2015. Υδραυλικές Κατασκευές-Φράγματα. Σημειώσεις Μαθήματος Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο ( [www.itia.ntua.gr/el/docinfo/1591/](http://www.itia.ntua.gr/el/docinfo/1591/) )

<sup>42</sup> Σιδηρόπουλος, Π. 2018. Ταμιευτήρες και Φράγματα. Σημειώσεις Μαθήματος Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

αποτέλεσμα τη δραματική μείωση της στάθμης του τελευταίου. Η κατασκευή φραγμάτων συμβάλλει στην ελεγχόμενη και ορθή διαχείριση των υδάτινων πόρων και για το λόγο αυτό τις τελευταίες δεκαετίες έχουν κατασκευαστεί 45.000 περίπου μεγάλα φράγματα παγκοσμίως για σκοπούς ύδρευσης και ενέργειας. Ωστόσο, αυτή η τάση έχει επιφέρει τόσο περιβαλλοντικές όσο και κοινωνικές επιπτώσεις<sup>43</sup>.

*Ισοζύγιο Ταμιευτήρα:* Η μελέτη των υδρολογικών στοιχείων σε κάθε υδρολογική λεκάνη όπου πρόκειται να υλοποιηθεί η κατασκευή ενός φράγματος, είναι απαραίτητη για την ανάλυση του υδατικού ισοζυγίου του δημιουργούμενου ταμιευτήρα. Ένας ταμιευτήρας, ως σύστημα δέχεται νερό από τις εισροές, δηλαδή τη βροχόπτωση και την επιφανειακή μέσω ρεμάτων, ή υπόγεια ροή, και «χάνει» νερό ως εξάτμιση, απώλειες προς τα υπόγεια νερά, οικολογική παροχή και ζήτηση. Αυτή η μεταβολή στην ποσότητα του νερού λόγω εισόδου και εξόδου ονομάζεται υδατικό ισοζύγιο. Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζονται αναλυτικά τα χαρακτηριστικά μεταβλητά μεγέθη εισροής, εκροής και αποθήκευσης που συναντώνται σε έναν ταμιευτήρα.



Εικόνα 9: Μεταβλητές Υδατικού Ισοζυγίου<sup>44</sup>

Συνοψίζοντας, η έκφραση υπολογισμού του υδατικού ισοζυγίου είναι η εξής:

$$P = E + R + \Delta V, \quad \text{όπου:}$$

<sup>43</sup> Τσακίρης 2010, 530

<sup>44</sup> Ευστρατιάδης et. al. 2015. Υδραυλικές Κατασκευές-Φράγματα. Σημειώσεις Μαθήματος Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο ( [www.itia.ntua.gr/el/docinfo/1591/](http://www.itia.ntua.gr/el/docinfo/1591/) )

- $P = V_p$  όγκος ατμοσφαιρικών κατακρημνίσεων
- $E = VET$  όγκος εξατμισοδιαπνοής
- $R = VF$  όγκος διηθούμενου νερού +  $VR$  επιφανειακής απορροής
- $\Delta V =$  μεταβολές όγκου νερού στην ακόρεστη ζώνη και κεκορεσμένη ζώνη, στις εδαφικές κοιλότητες κ.α.<sup>45</sup>

Η παροχή αποφόρτισης  $Q_t$ , από τον ταμιευτήρα εκφράζεται σαν ποσοστό  $a$  της μέσης τιμής παροχής του ποταμού  $I$  μέσα σε μια σειρά ετών  $T$ :  $\frac{\int_0^T Q_t dt}{\int_0^T I dt}$ ,  $0 \leq a \leq 1$ . Το  $a$  λέγεται βαθμός εκμετάλλευσης του ταμιευτήρα, με τους ταμιευτήρες με  $a < 30\%$  να θεωρούνται χαμηλού βαθμού εκμετάλλευσης και με μέγιστο βαθμό εκμετάλλευσης 100% όπου όλο το νερό ρυθμίζεται και χρησιμοποιείται από τον ταμιευτήρα<sup>46</sup>.

*Υδρογράφημα:* Ένα σημαντικό μέγεθος που είναι απαραίτητο να εξεταστεί για τη μελέτη ενός ταμιευτήρα με την κατασκευή φράγματος είναι η μεταβολή της παροχής σε όσο το δυνατόν μεγαλύτερο βάθος χρόνου. Αυτό συμβαίνει στους Υδρομετρικούς σταθμούς, όπου επιλέγεται κατάλληλη διατομή στην οποία καταγράφεται η μεταβολή της επιφάνειας στις διάφορες στάθμες και μέσω των καμπύλων στάθμης-παροχής υπολογίζεται η αντίστοιχη παροχή. Ακόμη, γίνονται έμμεσοι υπολογισμοί μέσω μοντέλων βροχόπτωσης-απορροής και από το υδρογράφημα φυσικών παροχών που προκύπτει, υπολογίζονται οι ημερήσιες, μηνιαίες και ετήσιες παροχές και η καμπύλη διάρκειάς τους στη μελετώμενη θέση<sup>47</sup>.

Η καμπύλη διάρκειας  $Q-t$  είναι ένα διάγραμμα που δίνει την παροχή συναρτήσει του ποσοστού του χρόνου κατά το οποίο η παροχή αυτή απαντάται ίση ή με μεγαλύτερη τιμή, έτσι δίνει τη δυνατότητα εύρεσης του ποσοστού του χρόνου στον οποίο η παροχή υπερβαίνει τις κρίσιμες για το σχεδιασμό παροχές. Άλλες καμπύλες που υπολογίζονται είναι οι καμπύλες  $Q/Ad-t$  και  $Q/\bar{Q}-t$ , με  $Ad$  το εμβαδόν της λεκάνης απορροής και  $t$  και  $\bar{Q}$  η μέση παροχή<sup>48</sup>.

Η αθροιστική καμπύλη παροχής είναι το διάγραμμα του αθροιστικού νερού που διέρχεται από μια διατομή συναρτήσει του χρόνου, και η παροχή σε χρόνο  $t$  ισούται

<sup>45</sup> Τσακίρης 2010, 556-557

<sup>46</sup> Σιδηρόπουλος, Π. 2018. Ταμιευτήρες και Φράγματα. Σημειώσεις Μαθήματος Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

<sup>47</sup> Τσακίρης 2010, 556-558

<sup>48</sup> Τσακίρης 2010, 556-558

με την κλίση της καμπύλης αυτής: ( $\epsilon\phi\omega = d\Sigma V/dt = Q(t)$ ). Για δυο σημεία της καμπύλης στο διάστημα  $[t_1, t_2]$ , η κλίση μας δίνει τη μέση παροχή:  $\epsilon\phi\omega = \frac{\Sigma V t_2 - \Sigma V t_1}{t_2 - t_1} = \overline{Q}(t_1, t_2)$ . Τόσο η φυσική παροχή  $q(t)$  όσο και η παροχή κατανάλωσης  $q_k(t)$  είναι μεταβλητές, η πρώτη λόγω μεταβλητότητας των συνθηκών κάθε υδρολογικού κύκλου και η δεύτερη λόγω μεταβλητότητας των ζητήσεων. Εάν έχουμε πλήρη εκμετάλλευση της ποσότητας του νερού στον ταμιευτήρα, ισχύει:  $\int_0^T q(t)dt = \int_0^T q_k(t)dt$ . Για να είναι δυνατή η χρήση του νερού του ταμιευτήρα σε ρυθμούς διαφορετικούς από τους φυσικούς, απαιτείται ρύθμιση των όγκων εισροής και εκροής. Ο ωφέλιμος όγκος, συνεπώς, ο οποίος είναι και αυτός ο οποίος θα χρησιμοποιηθεί για την ικανοποίηση των ζητήσεων, εξαρτάται το μέγεθος και τη μεταβλητότητα των αναγκών και αυξάνεται όσο αυτές διαφέρουν από τις φυσικές εισροές. Για τις παροχές εισόδου και εξόδου ισχύει:

$$q_k(t) = q(t) - dV/dt \leftrightarrow q_k(t) = q(t) - A \cdot dh/dt, \text{ με } A \text{ εμβαδόν επιφάνειας ταμιευτήρα και } h \text{ η στάθμη του νερού μέσα σε αυτόν}^{49}.$$

Για να εξασφαλιστεί  $q_k(t)$  παροχή σε όλη την περίοδο μελέτης, πρέπει να γίνεται αποθήκευση κάποιων ποσοτήτων στον ταμιευτήρα. Η χωρητικότητα του ταμιευτήρα που θα εξασφαλίσει αυτή την εγγυημένη παροχή λέγεται ωφέλιμος όγκος και υπολογίζεται με σχεδιασμό αθροιστικής καμπύλης εισροών και αθροιστικής καμπύλης εκροών και μετατόπιση της τελευταίας παράλληλα με την αρχική της θέση προς τα πάνω και προς τα κάτω ώστε να έχει ένα μόνο κοινό σημείο κάθε φορά με την καμπύλη εισροών. Η κατακόρυφη απόσταση των μετατοπισμένων καμπυλών δίνει σε μονάδες χρόνου τον ζητούμενο ωφέλιμο όγκο<sup>50</sup>.

Η μελέτη διαχείρισης ενός ταμιευτήρα μπορεί να γίνει με ιστορικές ή συνθετικές χρονοσειρές εισροών, με πιθανοθεωρητικές μεθοδολογίες που βασίζονται στη θεωρία του Moran (transition probability methods) μέσω εξίσωσης των διάφορων επιπέδων χωρητικότητας και πιθανοτήτων εκροής και κάποια μέθοδο προσομοίωσης λειτουργίας του ταμιευτήρα. Στην τελευταία κατηγορία ανήκουν οι μέθοδοι Rippl, Dincer, Stall και SPA.

**Τεχνικά Συνοδευτικά Έργα Φράγματος:** Χωρίζονται σε τρεις υποκατηγορίες:

<sup>49</sup> Τσακίρης 2010, 556-558

<sup>50</sup> Τσακίρης 2010, 556-558

- Προκαταρκτικά έργα: Εδώ ανήκουν τα έργα διαμόρφωσης του χώρου της περιοχής όπου θα λάβει χώρα η κατασκευή για την καλή λειτουργία του εργοταξίου. Τέτοια έργα είναι η σήραγγα εκτροπής και το ανάντη και κατόντη πρόφραγμα. Ανάλογα με τα τοπογραφικά χαρακτηριστικά, τον τύπο και το μέγεθος του φράγματος καθώς και το μέγεθος της πλημμύρας εκτροπής επιλέγεται το είδος του έργου που θα κατασκευαστεί. Για πεδινές περιοχές και φράγματα μικρού ύψους επιλέγεται ανάχωμα παράλληλο με τη διεύθυνση της ροής, ενώ για σημαντικά φράγματα σήραγγα εκτροπής (συνχά μαζί με χωμάτινο πρόφραγμα). Μετά την ολοκλήρωση των έργων η σήραγγα εκτροπής φράζεται, ώστε να υλοποιηθεί η πλήρωση του ταμιευτήρα. Η σήραγγα εκτροπής (ή τμήμα της) μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως τμήμα του εκχειλιστή, ως εκκενωτής πυθμένα ή για τη διοχέτευση της περιβαλλοντικής παροχής.
- Έργα προσαγωγής και απαγωγής: Συνοδεύουν τις κατασκευές υδροηλεκτρικών σταθμών μεταφέροντας το νερό από τον ταμιευτήρα στους υδροστροβίλους και το επαναφέρουν στη συνέχεια στην αρχική κοίτη. Συγκεκριμένα, τέτοια έργα είναι η διώρυγα προσαγωγής, η υδροληψία, η σήραγγα προσαγωγής, οι αγωγοί πτώσεως, οι δικλείδες και ο αγωγός φυγής.
- Έργα ασφαλείας κατά την κατασκευή ενός φράγματος: Εξασφαλίζουν τη διακοπή της ροής του ποταμού με την κατασκευή προσωρινών έργων παρεμπόδισης της ροής σε έκτακτες περιπτώσεις όπως πλημμύρες ή ταχεία ανάγκη εκκένωσης του ταμιευτήρα με εκχειλιστές και εκκενωτές πυθμένα αντίστοιχα. Οι πύργοι/φρέατα αναπλάσεως και οι θάλαμοι ισορροπίας ανήκουν επίσης σε αυτή την ομάδα έργων προστατεύοντας τους αγωγούς από το φαινόμενο του υδραυλικού πλήγματος.

### **Σχετικοί Ορισμοί για τα Φράγματα:**

**Αντερείσματα:** Τμήματα των πρανών της κοιλάδας στο οποία εδράζεται το φράγμα (διάκριση σε αριστερό-δεξιό, κοιτώντας στην κατεύθυνση της ροής του ποταμού).



Ανώτατη στάθμη λειτουργίας: ανώτερο υψομετρικό όριο για την έναρξη της υπερχειλίσεως<sup>51</sup>.

Ανώτατη στάθμη πλημμύρας: μέγιστη στάθμη που εκτιμάται ότι μπορεί να ανέλθει το νερό στη διάρκεια της πλημμύρας σχεδιασμού του υπερχειλιστή<sup>52</sup>.

Καμπύλες ταμιευτήρα: σχέσεις στάθμης- επιφάνειας και στάθμης-αποθέματος<sup>53</sup>.

Κατώτατη στάθμη λειτουργίας: ελάχιστη τιμή στάθμης νερού στον ταμιευτήρα, πάνω από την οποία μπορεί να παραληφθεί νερό από τα έργα υδροληψίας<sup>54</sup>.

Λεκάνη απορροής: Κλειστή επιφάνεια, δεδομένου εμβαδού, που συνεισφέρει στην παραγωγή επιφανειακής απορροής, ο υδροκρίτης της οποίας διέρχεται από τη θέση του φράγματος (ο ταμιευτήρας αναπτύσσεται στο κατάντη τμήμα της λεκάνης).

Νεκρός όγκος: χωρητικότητα ταμιευτήρα μέχρι την ΚΣΛ, που στο πέρας της ζωής του έργου προβλέπεται να καταληφθεί από φερτά (μη απολήψιμο απόθεμα)<sup>55</sup>.

Πλημμυρικός όγκος: μέγιστος όγκος πλημμύρας που μπορεί να ανασχεθεί στον ταμιευτήρα, θεωρώντας την ΑΣΛ κατά την έναρξη της πλημμύρας σχεδιασμού<sup>56</sup>.

Πυθμένας: χαμηλότερο υψομετρικά σημείο ταμιευτήρα (στον πόδα του φράγματος).

Στέψη υπερχειλιστή (ελεύθεροι υπερχειλιστές, χωρίς θυροφράγματα)  
Άνω παρειά θυροφραγμάτων (εκχειλιστές).

Στέψη φράγματος: Το ανώτερο υψομετρικά τμήμα του αναχώματος, χωρίς την υπερύψωση(= επιπλέον ύψος που αφήνεται για παραλαβή καθιζήσεων)<sup>57</sup>.

---

<sup>51</sup> Ευστρατιάδης et. al. 2015. Υδραυλικές Κατασκευές-Φράγματα. Σημειώσεις Μαθήματος Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο ( [www.itia.ntua.gr/el/docinfo/1591/](http://www.itia.ntua.gr/el/docinfo/1591/) )

<sup>52</sup> Ευστρατιάδης et. al. 2015. Υδραυλικές Κατασκευές-Φράγματα. Σημειώσεις Μαθήματος Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο ( [www.itia.ntua.gr/el/docinfo/1591/](http://www.itia.ntua.gr/el/docinfo/1591/) )

<sup>53</sup> Ευστρατιάδης et. al. 2015. Υδραυλικές Κατασκευές-Φράγματα. Σημειώσεις Μαθήματος Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο ( [www.itia.ntua.gr/el/docinfo/1591/](http://www.itia.ntua.gr/el/docinfo/1591/) )

<sup>54</sup> Ευστρατιάδης et. al. 2015. Υδραυλικές Κατασκευές-Φράγματα. Σημειώσεις Μαθήματος Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο ( [www.itia.ntua.gr/el/docinfo/1591/](http://www.itia.ntua.gr/el/docinfo/1591/) )

<sup>55</sup> Ευστρατιάδης et. al. 2015. Υδραυλικές Κατασκευές-Φράγματα. Σημειώσεις Μαθήματος Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο ( [www.itia.ntua.gr/el/docinfo/1591/](http://www.itia.ntua.gr/el/docinfo/1591/) )

<sup>56</sup> Ευστρατιάδης et. al. 2015. Υδραυλικές Κατασκευές-Φράγματα. Σημειώσεις Μαθήματος Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο ( [www.itia.ntua.gr/el/docinfo/1591/](http://www.itia.ntua.gr/el/docinfo/1591/) )

<sup>57</sup> Ευστρατιάδης et. al. 2014-15. Υδροηλεκτρικά Έργα. Σημειώσεις Μαθήματος Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο  
([http://users.itia.ntua.gr/dk/courses/yhe/slides/HW\\_15\\_Dams.pdf](http://users.itia.ntua.gr/dk/courses/yhe/slides/HW_15_Dams.pdf))

Υδροληψία: Τεχνικό έργο εισόδου που τοποθετείται σε κατάλληλο υψόμετρο (αρκετά ψηλότερα από τον πόδα του φράγματος) και συνδέεται με τα έργα προσαγωγής<sup>58</sup>.

Υπερχειλιστής: Τεχνικό έργο που τοποθετείται χαμηλότερα από τη στέψη του φράγματος και επιτρέπει την ομαλή διοχέτευση των πλημμυρικών ροών, ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος υπερπήδησης του φράγματος (στα Υ/Η έργα συνδυάζεται με τη λειτουργία θυροφραγμάτων, οπότε χρησιμοποιείται ο όρος εκχειλιστής)<sup>59</sup>.

Ύψος φράγματος: Κατακόρυφη απόσταση από το βαθύτερο σημείο της θεμελίωσης μέχρι τη στέψη<sup>60</sup>.

Ωφέλιμη χωρητικότητα: μέγιστος απολήψιμος όγκος νερού (μέγιστο ωφέλιμο απόθεμα), που ορίζεται ως η διαφορά αποθέματος μεταξύ της ΑΣΛ και της ΚΣΛ<sup>61</sup>.

Ωφέλιμο απόθεμα: όγκος νερού που μπορεί να αξιοποιηθεί για διάφορες χρήσεις, που υπολογίζεται αφαιρώντας το νεκρό όγκο από το συνολικό απόθεμα<sup>62</sup>.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### Μεθοδολογία

#### 3.1 Μοντέλα προσομοίωσης και βελτιστοποίησης συστημάτων υδάτινων πόρων

**Απλό Σύστημα Υδάτινων Πόρων:** Θεωρούμε την περίπτωση ενός υποθετικού ταμιευτήρα που εκρέει νερό σε μεταγενέστερους χρήστες κατάντη (Σχήμα 1). Ο ταμιευτήρας, σε συνδυασμό με την πολιτική διαχείρισής του, μπορεί να αυξήσει τα οφέλη που λαμβάνει ο κάθε χρήστης με την πάροδο του χρόνου, παρέχοντας αυξημένη ροή κατά τη διάρκεια περιόδων χαμηλών ροών ανάλογα με τις απαιτήσεις των χρηστών. Ενδιαφέρον παρουσιάζει το αν τα περισσότερα οφέλη που αποκτούν οι

<sup>58</sup> Ευστρατιάδης et. al. 2014-15. Υδροηλεκτρικά Έργα. Σημειώσεις Μαθήματος Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο ([http://users.itia.ntua.gr/dk/courses/yhe/slides/HW\\_15\\_Dams.pdf](http://users.itia.ntua.gr/dk/courses/yhe/slides/HW_15_Dams.pdf))

<sup>59</sup> Ευστρατιάδης et. al. 2014-15. Υδροηλεκτρικά Έργα. Σημειώσεις Μαθήματος Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο ([http://users.itia.ntua.gr/dk/courses/yhe/slides/HW\\_15\\_Dams.pdf](http://users.itia.ntua.gr/dk/courses/yhe/slides/HW_15_Dams.pdf))

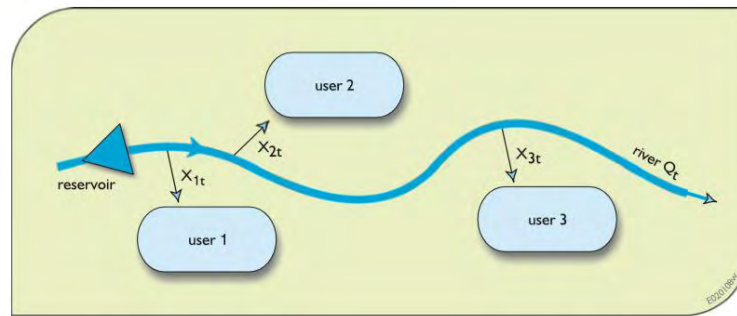
<sup>60</sup> Ευστρατιάδης et. al. 2014-15. Υδροηλεκτρικά Έργα. Σημειώσεις Μαθήματος Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο ([http://users.itia.ntua.gr/dk/courses/yhe/slides/HW\\_15\\_Dams.pdf](http://users.itia.ntua.gr/dk/courses/yhe/slides/HW_15_Dams.pdf))

<sup>61</sup> Ευστρατιάδης et. al. 2015. Υδραυλικές Κατασκευές-Φράγματα. Σημειώσεις Μαθήματος Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο ([www.itia.ntua.gr/el/docinfo/1591/](http://www.itia.ntua.gr/el/docinfo/1591/))

<sup>62</sup> Ευστρατιάδης et. al. 2015. Υδραυλικές Κατασκευές-Φράγματα. Σημειώσεις Μαθήματος Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο ([www.itia.ntua.gr/el/docinfo/1591/](http://www.itia.ntua.gr/el/docinfo/1591/))



χρήστες από τις συνθήκες αυξημένης και πιο αξιόπιστης ροής κατάντη, θα αντισταθμίσουν το κόστος του ταμιευτήρα ή όχι<sup>63</sup>.



Σχήμα 1: Εννοιολογικό μοντέλο ενός συστήματος κατανομής νερού ταμιευτήρα προς προσομοίωση<sup>64</sup>

Ο προσδιορισμός της ενεργού χωρητικότητας αποθήκευσης της δεξαμενής και της ποσότητας νερού που θα εξέλθει ανάλογα με τον όγκο και τη χρονική περίοδο, πρέπει να προηγηθεί της προσομοίωσης του συστήματος. Με άλλα λόγια, πρέπει να ορίσουμε την *πολιτική λειτουργίας* (operation policy) του ταμιευτήρα. Επιπρόσθετα, πρέπει να προσδιοριστεί η *πολιτική κατανομής* (allocation policy), δηλαδή το ποσό του εξερχόμενου νερού το οποίο θα διατεθεί σε κάθε χρήστη και στον ποταμό κατάντη των χρηστών. Υπάρχει κυριολεκτικά άπειρος αριθμός πιθανών τιμών των μεταβλητών σχεδιασμού και πολιτικών λειτουργίας. Το επόμενο βήμα είναι ο έλεγχος αυτών των εναλλακτικών λύσεων για να βρεθούν οι τιμές που αξίζουν περαιτέρω μελέτης με τη χρήση προσομοίωσης<sup>65</sup>.

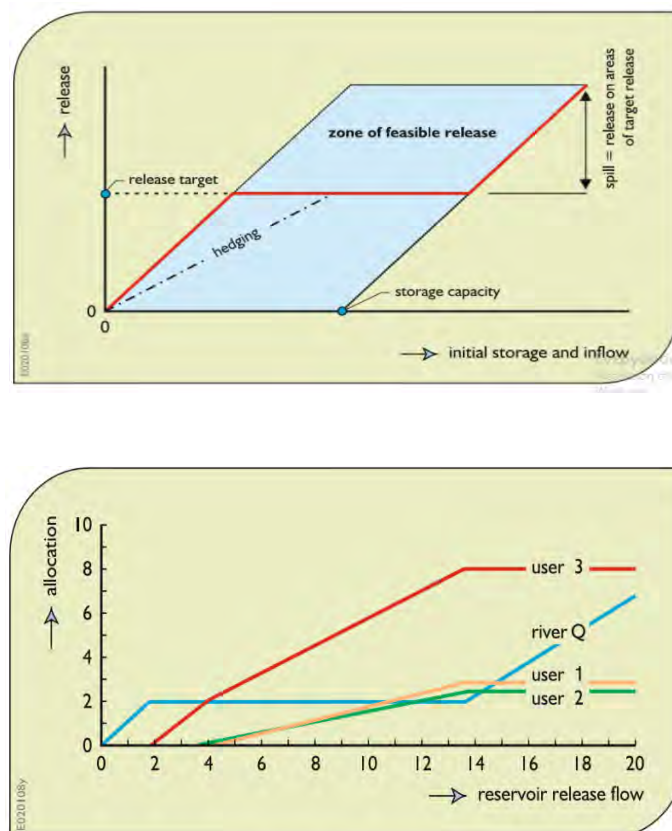
Για αυτή την απλή απεικόνιση, υποθέτουμε ότι οι πολιτικές λειτουργίας και κατανομής είναι όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 1. Επίσης, για λόγους απλούστευσης υποθέτουμε ότι ισχύουν για κάθε διακριτή χρονική περίοδο. Η πολιτική λειτουργίας του ταμιευτήρα, που εμφανίζεται ως κόκκινη γραμμή στο άνω τμήμα του Σχήματος 2, επιχειρεί να παραστήσει έναν στόχο εκροής. Εάν είναι διαθέσιμο ανεπαρκές νερό, όλο το νερό θα εξέλθει κατά τη χρονική περίοδο. Εάν η εισροή υπερβεί τη ροή στόχου και ο ταμιευτήρας είναι πλήρης, θα εμφανιστεί διαρροή. Αυτή η πολιτική λειτουργίας ονομάζεται μερικές φορές "*τυπική*" πολιτική λειτουργίας (standard operation policy- SOP). Δεν ακολουθείται συνήθως στην πράξη.

<sup>63</sup> Loucks et al. 2017, 81-86

<sup>64</sup> Loucks et al. 2017, 82

<sup>65</sup> Loucks et. al. 2017, 81-86

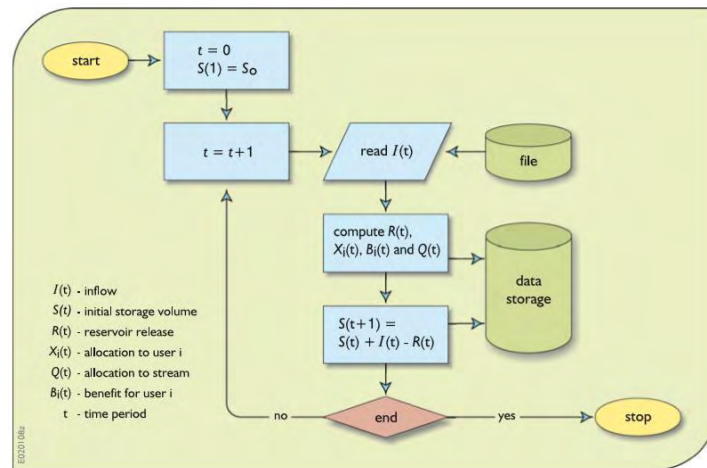
Οι περισσότεροι διαχειριστές, όπως προσδιορίζεται από τις πολιτικές λειτουργίας του ταμιευτήρα, θα μειώσουν τη ροή σε περιόδους ξηρασίας σε μια προσπάθεια να εξοικονομήσουν λίγο νερό στον ταμιευτήρα για μελλοντική έξοδο σε περίπτωση παρατεταμένης περιόδου χαμηλών εισροών. Αυτό λέγεται *πολιτική αντιστάθμισης* (hedging policy). Οποιαδήποτε *πολιτική εκροής* του ταμιευτήρα (release policy), συμπεριλαμβανομένης μιας πολιτικής αντιστάθμισης, μπορεί να οριστεί εντός του μπλε τμήματος του γραφήματος της πολιτικής εκροής που εμφανίζεται στο Σχήμα 2. Η γραμμή παύλα-κουκκίδα στο Σχήμα 2 είναι μια τέτοια συνάρτηση αντιστάθμισης. Μόλις οριστεί, οποιαδήποτε πολιτική λειτουργίας ταμιευτήρα μπορεί να προσομοιωθεί<sup>66</sup>.



Σχήμα 2: Πολιτική λειτουργίας δεξαμενής που ορίζει την εκροή του ταμιευτήρα ως συνάρτηση του τρέχοντος όγκου αποθήκευσης και πολιτική κατανομής για τη ροή του ποταμού κατάντη του ταμιευτήρα. Η μπλε ζώνη στην πολιτική λειτουργίας του ταμιευτήρα υποδεικνύει τη ζώνη των εφικτών εκροών. Είναι φυσικά αδύνατο να γίνουν εκροές που παριστάνονται από σημεία εκτός αυτής της μπλε ζώνης.<sup>67</sup>

<sup>66</sup> Loucks et. al. 2017, 81-86

<sup>67</sup> Loucks et. al. 2017, 83



Σχήμα 3: Διάγραμμα ροής της διαδικασίας προσομοίωσης του συστήματος ταμιευτήρα-κατανομής χρηστών. Η προσομοίωση τερματίζεται μετά από κάποιο προκαθορισμένο αριθμό χρονικών βημάτων της προσομοίωσης<sup>68</sup>.

Η διαδικασία προσομοίωσης για το σύστημα τριών χρηστών εμφανίζεται στο Σχήμα 3, προχωρώντας από τη μια χρονική περίοδο στην άλλη μέσω μιας επαναληπτικής διαδικασίας. Η εισροή στον ταμιευτήρα, που λαμβάνεται από μια βάση δεδομένων, προστίθεται στον υπάρχοντα όγκο αποθήκευσης και η εκροή καθορίζεται με βάση την πολιτική εκροής (άνω Σχήμα 2). Μόλις η εκροή είναι γνωστή, υπολογίζεται ο τελικός όγκος αποθήκευσης και αυτό γίνεται ο αρχικός όγκος για την επόμενη χρονική περίοδο προσομοίωσης. Στη συνέχεια, η εκροή του ταμιευτήρα κατανέμεται στους τρεις κατάντη χρήστες και στον ποταμό κατάντη των εν λόγω χρηστών, όπως ορίζεται από την πολιτική κατανομής (κάτω Σχήμα 2). Τα προκύπτοντα οφέλη μπορούν να υπολογιστούν και να αποθηκευτούν σε μια βάση δεδομένων εξόδου. Πρόσθετα δεδομένα, συμπεριλαμβανομένων των όγκων αποθήκευσης, των εκροών και των ίδιων των κατανομών μπορούν επίσης να αποθηκευτούν στη βάση δεδομένων εξόδου. Η διαδικασία προσομοίωσης συνεχίζεται για όσο διαρκεί η εκτέλεση της προσομοίωσης. Στη συνέχεια, τα δεδομένα εξόδου μπορούν να συνοψιστούν για μεταγενέστερη σύγκριση με άλλα αποτελέσματα άλλων προσομοιώσεων βασισμένων σε διαφορετικές χωρητικότητες ταμιευτήρα, πολιτικές λειτουργίας ή/και πολιτικές κατανομής<sup>69</sup>.

Δεν θα ήταν πολύ δύσκολο να γραφτεί ένα πρόγραμμα στον υπολογιστή για την εκτέλεση αυτής της προσομοίωσης. Στην πραγματικότητα, μπορεί να γίνει σε ένα

<sup>68</sup> Loucks et. al. 2017, 84

<sup>69</sup> Loucks et. al. 2017, 81-86

υπολογιστικό φύλλο. Όσο εύκολο κι αν είναι αυτό για κάποιον εξοικειωμένο με τον προγραμματισμό των υπολογιστών ή με τα υπολογιστικά φύλλα, δεν μπορεί κανείς να αναμένει ότι θα είναι εύκολο για πολλούς φορείς σχεδιασμού υδάτινων πόρων και διαχειριστές που δεν κάνουν αυτό το είδος εργασίας σε τακτική βάση. Ωστόσο, μπορεί να επιθυμούν να εκτελέσουν μια προσομοίωση ενός συγκεκριμένου συστήματός τους και να το δημιουργήσουν με τρόπο που να διευκολύνει τις αλλαγές σε πολλές από τις παραδοχές του. Τα προγράμματα υπολογιστών που μπορούν να προσομοιώσουν μια μεγάλη ποικιλία συστημάτων υδάτινων πόρων καθίστανται όλο και πιο διαθέσιμα. Τα προγράμματα προσομοίωσης με τις διεπαφές τους που διευκολύνουν την εισαγωγή και επεξεργασία δεδομένων και την εμφάνιση των δεδομένων εξόδου συνήθως ονομάζονται *συστήματα υποστήριξης αποφάσεων* (decision support systems). Τα δεδομένα εισόδου τους καθορίζουν τα στοιχεία του συστήματος υδάτινων πόρων και τη διαμόρφωση τους, περιλαμβάνουν επίσης υδρολογικά δεδομένα και δεδομένα σχεδιασμού και πολιτικής λειτουργίας. Αυτά τα γενικευμένα προγράμματα προσομοίωσης είναι ικανά να προσομοιώσουν τις επιφανειακές και τις υπόγειες ροές, τους όγκους αποθήκευσης και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά κάτω από μια ποικιλία σχεδιασμών υποδομής συστήματος και πολιτικών λειτουργίας<sup>70</sup>.

**Προσδιορίζοντας το τι πρέπει να προσομοιωθεί:** Πριν να μπορέσει να προσομοιωθεί το σύστημα που εμφανίζεται στην Εικόνα 1, πρέπει να προσδιοριστούν ο σχεδιασμός και η πολιτική λειτουργίας του, δηλαδή, οι πληροφορίες που εμφανίζονται στο Σχήμα 2. Ένας τρόπος για να γίνει αυτό είναι η χρήση *βελτιστοποίησης* (optimization). Η βελτιστοποίηση καθοδηγείται από μια αντικειμενική συνάρτηση. Ας υποθέσουμε ότι ένα γενικό μέτρο των επιδόσεων του συστήματος έχει αποφασιστεί παραπάνω και μπορεί να εκφραστεί ως συνάρτηση των μεταβλητών απόφασης. Αυτές οι μεταβλητές απόφασης περιλαμβάνουν όλες τις πληροφορίες του Σχήματος 1, δηλαδή τη χωρητικότητα του ταμιευτήρα και τις αποφάσεις για την αποθήκευση, την εκροή του ταμιευτήρα και την κατανομή των χρηστών σε κάθε χρονική περίοδο. Ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι τιμές αυτών των μεταβλητών απόφασης που επιτυγχάνουν το υψηλότερο επίπεδο απόδοσης του

---

<sup>70</sup> Loucks et. al. 2017, 81-86

συστήματος. Η χρήση ενός μοντέλου βελτιστοποίησης θα βοηθήσει στον καθορισμό των τιμών αυτών των μεταβλητών<sup>71</sup>.

Συνεπώς, το μοντέλο βελτιστοποίησης θα αναπτυχθεί και θα χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό των τιμών των μεταβλητών απόφασης που μεγιστοποιούν την επίδοση του συστήματος. Έστω ότι  $B(K, S, R, A)$  η τιμή που αντιπροσωπεύει το συνολικό μέτρο απόδοσης του συστήματος, ως συνάρτηση της χωρητικότητας του ταμιευτήρα  $K$ , όλων των αρχικών όγκων αποθήκευσης,  $S(t)$ , των εκροών,  $R(t)$  και των κατανομών νερού στους χρήστες  $i$ ,  $A(i, t)$ , σε κάθε χρονική περίοδο  $t$  για το σύνολο των χρονικών περιόδων  $T$ <sup>72</sup>. Ως εκ τούτου, ο στόχος είναι:

$$\text{maximize } B(K, S, R, A) \quad (1)$$

διασφαλίζοντας διατήρησης της μάζας του νερού στη δεξαμενή με την πάροδο του χρόνου:

$$S(t) + \text{Inflow}(t) - R(t) = S(t+1) \text{ για κάθε περίοδο } t \text{ (και περίοδο } T+1=1) \quad (2)$$

Αυτές οι εξισώσεις διατήρησης της μάζας καθορίζουν τη σχέση μεταξύ αρχικών τιμών,  $S(t)$  και τελικών τιμών  $S(t+1)$  χώρου αποθήκευσης σε κάθε περίοδο  $t$  και εξισώνουν την τελική τιμή αποθήκευσης σε κάθε περίοδο με την αρχική τιμή την επόμενη περίοδο. Τελικά, υποθέτουμε ότι όλη η διαδικασία προσομοίωσης επαναλαμβάνεται μετά από κάθε  $T$  χρόνια<sup>73</sup>.

Η επόμενη σειρά περιορισμών διασφαλίζει ότι οι όγκοι αποθήκευσης,  $S(t)$ , δεν υπερβαίνουν τη χωρητικότητα αποθήκευσης του ταμιευτήρα  $K$  και ότι οι κατανομές,  $A(i, t)$ , στους τρεις χρήστες ύδατος δεν υπερβαίνουν την εκροή του ταμιευτήρα,  $R(t)$ , μείον το ποσό που θα παραμείνει στη ροή,  $Q(t)$ .

$$S(t) < K \text{ για κάθε περίοδο } t \quad (3)$$

$$A(1,t) + A(2,t) + A(3,t) \leq R(t) - Q(t) \text{ για κάθε περίοδο } t \quad (4)$$

Αυτό το απλό παράδειγμα παραβλέπει πολλές από τις λεπτομέρειες που θα πρέπει να εξεταστούν κατά τη μοντελοποίηση ταμιευτήρων και χρηστών νερού. Προς το παρόν το μοντέλο είναι επαρκές για να βρεθούν τιμές για κάθε μεταβλητή απόφασης που

<sup>71</sup> Loucks et. al. 2017, 81-86

<sup>72</sup> Loucks et. al. 2017, 81-86

<sup>73</sup> Loucks et. al. 2017, 81-86

εμφανίζεται στο ανώτερο τμήμα του Σχήματος 2. Οι πολιτικές κατανομής που εμφανίζονται στο κάτω μέρος του Σχήματος 2 μπορούν να εξασφαλιστούν με την επίλυση ενός ξεχωριστού μοντέλου βελτιστοποίησης μίας περιόδου που περιέχει μόνο τις παροχές κατανομής ως αντικειμενική συνάρτηση,  $B(A)$  και τον περιορισμό 4 για μια μεμονωμένη περίοδο, και διάφορες τιμές του διαθέσιμου νερού,  $R - Q$ , με την παραδοχή ότι τα οφέλη,  $B(A)$ , δεν μεταβάλλονται με την πάροδο του χρόνου<sup>74</sup>.

$$\text{Maximize } B(A(1), A(2), A(3)) \quad (5)$$

Για το οποίο ισχύει:

$$A(1) + A(2) + A(3) \leq R - Q \text{ για διάφορες δοσμένες τιμές των } R \text{ και } Q \quad (6)$$

**Προσομοίωση Έναντι Βελτιστοποίησης:** Σε αντίθεση με τα μοντέλα προσομοίωσης, οι λύσεις των μοντέλων βελτιστοποίησης βασίζονται σε αντικειμενικές συναρτήσεις που πρόκειται να μεγιστοποιηθούν ή να ελαχιστοποιηθούν. Η αντικειμενική συνάρτηση και οι περιορισμοί ενός μοντέλου βελτιστοποίησης περιλαμβάνουν μεταβλητές απόφασης οι οποίες είναι άγνωστες και οι παραμέτρους των οποίων οι τιμές θεωρούνται γνωστές. Οι περιορισμοί εκφράζονται ως εξισώσεις και ανισότητες. Το μοντέλο δεξαμενής ( (7), (8), (9) ) είναι ένα παράδειγμα ενός μοντέλου βελτιστοποίησης<sup>75</sup>. Το ίδιο και το μοντέλο κατανομής νερού του ταμιευτήρα ( (1), (2), (3), (4) ) και το παράδειγμα κατανομής μίας περιόδου ((5), (6)).

$$\text{Minimize cost} \quad (7)$$

$$\text{Cost} = (C_{\text{Base}} + C_{\text{top}})(LW) + 2C_{\text{Side}}(LH + WH) \quad (8)$$

$$LWH \geq V \quad (9)$$

Η λύση ενός μοντέλου βελτιστοποίησης, εάν υπάρχει, περιέχει όλες τις τιμές των αγνώστων μεταβλητών απόφασης. Είναι μαθηματικά βέλτιστο στο ότι οι τιμές των μεταβλητών απόφασης ικανοποιούν όλους τους περιορισμούς και μεγιστοποιούν ή ελαχιστοποιούν μια αντικειμενική συνάρτηση. Αυτή η "βέλτιστη" λύση είναι φυσικά είναι βασισμένη στις τιμές των παραμέτρων του μοντέλου που έχουμε υποθέσει, στην επιλεγείσα αντικειμενική συνάρτηση και στην ίδια τη δομή του μοντέλου. Στην

<sup>74</sup> Loucks et. al. 2017, 81-86

<sup>75</sup> Loucks et. al. 2017, 81-86

καλύτερη περίπτωση, αυτές οι παραδοχές μπορούν μόνο να προσεγγίσουν μόνο την πραγματικότητα<sup>76</sup>.

Οι παραδοχές που έγιναν για να επιτραπεί η επίλυση του μοντέλου με διαδικασία βελτιστοποίησης της λύσης (αλγόριθμοι), μπορούν να δικαιολογήσουν τη δημιουργία μιας πιο λεπτομερούς και πιο ρεαλιστικής προσομοίωσης για να ελεγχθεί και να βελτιωθεί οποιαδήποτε λύση που λαμβάνεται από αυτή τη βελτιστοποίηση. Ενώ τα αποτελέσματα από ένα μοντέλο προσομοίωσης μπορεί να είναι πιο ρεαλιστικά, τόσο η προσομοίωση όσο και τα μοντέλα βελτιστοποίησης αποτελούν προσεγγίσεις του πραγματικού συστήματος που μοντελοποιείται. *Η βέλτιστη λύση κάθε μοντέλου είναι βέλτιστη μόνο σε σχέση με το συγκεκριμένο μοντέλο, όχι απαραίτητα σε σχέση με το πραγματικό σύστημα.* Είναι σημαντικό να συνειδητοποιήσουμε αυτό τον περιορισμό στο νόημα της λέξης "βέλτιστη", έναν όρος που απαντάται συχνά σε άρθρα που δημοσιεύονται από αναλυτές, σχεδιαστές και μηχανικούς συστημάτων υδάτινων πόρων<sup>77</sup>.

Στο Σχήμα 4 απεικονίζονται οι ευρείες διαφορές μεταξύ προσομοίωσης και βελτιστοποίησης. Τα μοντέλα βελτιστοποίησης χρειάζονται ρητές εκφράσεις αντικειμενικών συναρτήσεων, ενώ τα μοντέλα προσομοίωσης όχι. Η προσομοίωση απλώς αντιμετωπίζει σενάρια της μορφής "τι θα συμβεί αν" ("what if")— τι μπορεί να συμβεί εάν έχει θεωρηθεί ένα συγκεκριμένο σενάριο ή αν έχει παρθεί μια συγκεκριμένη απόφαση. Οι χρήστες των μοντέλων προσομοίωσης πρέπει να προσδιορίζουν τις τιμές των μεταβλητών απόφασης σχεδιασμού και λειτουργίας πριν από την εκτέλεση μιας προσομοίωσης. Μόλις καθοριστούν οι τιμές όλων των μεταβλητών απόφασης, η προσομοίωση μπορεί να παράσχει ακριβέστερες εκτιμήσεις των επιπτώσεων που μπορεί να προκύψουν από αυτές τις αποφάσεις. Αντίθετα, η βελτιστοποίηση καθορίζει "τι πρέπει να κάνουμε" ("what should be")— ποια είναι η καλύτερη απόφαση – και αυτή η λύση συχνά βασίζεται σε πολλές περιοριστικές παραδοχές. Εξαιτίας αυτού, πρέπει να χρησιμοποιήσουμε τη βελτιστοποίηση όχι ως τρόπο για να βρούμε την καλύτερη λύση, αλλά για να ορίσουμε ένα σχετικά μικρό αριθμό καλών εναλλακτικών λύσεων που μπορούν αργότερα να ελεγχθούν, να αξιολογηθούν και να βελτιωθούν μέσω πιο λεπτομερών προσομοιώσεων. Αυτή η χρήση της διαδικασίας της βελτιστοποίησης για τη μείωση του μεγάλου αριθμού των

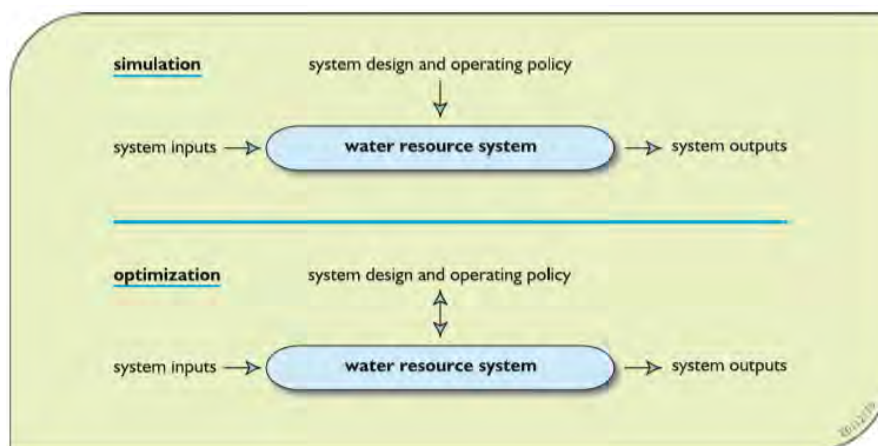
---

<sup>76</sup> Loucks et. al. 2017, 81-86

<sup>77</sup> Loucks et. al. 81-86



σχεδιασμών και των πολιτικών σε περιορισμένο αριθμό εναλλακτικών που μπορούν στη συνέχεια να προσομοιωθούν και να αξιολογηθούν καλύτερα, συχνά καλείται *προκαταρκτική εξέταση* (preliminary screening).



Σχήμα 4: Διαφορές προσομοίωσης και βελτιστοποίησης. Η προσομοίωση απαντά στη ερώτηση "τι γίνεται αν", η βελτιστοποίηση μπορεί να απαντήσει στην ερώτηση "τι πρέπει να γίνει". Και οι δύο τύποι μοντέλων χρησιμοποιούνται συνήθως στις μελέτες σχεδιασμού και διαχείρισης υδάτινων πόρων<sup>78</sup>

**Συμπεράσματα:** Τα γενικευμένα μοντέλα για τις αναλύσεις συστημάτων υδάτινων πόρων καθίστανται ολοένα και πιο διαθέσιμα, εξοικονομώντας πολλές οργανώσεις από τη διαδικασία να αναπτύξουν τα δικά τους μεμονωμένα μοντέλα. Οι δεξιότητες στη μοντελοποίηση θα είναι χρήσιμες για όσους εμπλέκονται σε δραστηριότητες σχεδιασμού και διαχείρισης συστημάτων υδάτινων πόρων. Αυτές οι δεξιότητες μπορεί να είναι χρήσιμες ακόμη και σε εκείνους που αναμένεται να επιβλέπουν ή να αξιολογούν τα αποτελέσματα των μοντέλων άλλων (π.χ. από διάφορες αρχές του ΟΗΕ, της Παγκόσμιας Τράπεζας ή των εθνικών οργανισμών παροχής βοήθειας) που εμπλέκονται στην ανάλυση συγκεκριμένων συστημάτων υδάτινων πόρων σε συγκεκριμένες περιοχές του κόσμου<sup>79</sup>.

<sup>78</sup> Loucks et. al. 2017, 86

<sup>79</sup> Loucks et. al. 2017, 81-86



### 3.2 Παρουσίαση προγράμματος R και πακέτων WRSS και RESERVOIR

Η ανάλυση δεδομένων αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι της επιστήμης της υδρολογίας. Οι υδρολόγοι χρησιμοποιούν συχνά τεχνικές οι οποίες είναι ενσωματωμένες σε στατιστικά πακέτα και υπολογιστικά φύλλα συμβατικών προγραμμάτων. Ωστόσο, δεν υπάρχουν όλες οι τεχνικές σε αυτή την κατηγορία αναλύσεων, με χαρακτηριστικά παραδείγματα τις αναλύσεις έντασης-διάρκειας-συχνότητας και τις αναλύσεις συχνότητας πλημμύρας. Συνεπώς, απαιτείται η χρήση γλώσσας προγραμματισμού για την πραγματοποίηση τέτοιου είδους τεχνικών μέσω της συγγραφής κώδικα που να εκτελεί τις συγκεκριμένες αναλύσεις. Η R είναι μεταξύ άλλων (Python, Julia κλπ.) μια από αυτές τις γλώσσες, προσφέροντας το πλεονέκτημα της πραγματοποίησης σχεδόν οποιασδήποτε ενδεχόμενης υδρολογικής ανάλυσης με ενσωματωμένη ροή εργασίας, σε αντίθεση με άλλες που εξυπηρετούν μόνο πολύ συγκεκριμένες εφαρμογές<sup>80</sup>. Το μεγάλο αυτό εύρος των εφαρμογών στις οποίες μπορεί να χρησιμοποιηθεί η R, είναι και ο λόγος επιλογής της για την υλοποίηση της παρούσας εργασίας.

Συγκεκριμένα, η R είναι μια γλώσσα προγραμματισμού, που έχει δημιουργηθεί από τους Ross Ihaka και Robert Gentleman, αποτελεί διάλεκτο της γλώσσας S, που είχε αναπτυχθεί στα Bell Laboratories (πρώην AT&T, πλέον Lucent Technologies) από τον John Chambers και τους συνεργάτες του, και συνδυάζει στοιχεία διαδικαστικού, λειτουργικού και αντικειμενοστρεφή προγραμματισμού. Αποτελεί ένα ισχυρό περιβάλλον ανάπτυξης στατιστικών υπολογισμών, ανάλυσης δεδομένων και γραφικών, ενώ ως έργο αποτελεί κοινό κτήμα-GNU project (Gnu's Not Unix). Η R-project (<http://www.r-project.org/>) αποτελεί μια ανοικτή γλώσσα προγραμματισμού, η οποία χρησιμοποιείται ευρέως τόσο ως εκπαιδευτική γλώσσα όσο και ως ερευνητικό εργαλείο. Τα κύρια πλεονεκτήματα της είναι το γεγονός ότι αποτελεί ελεύθερο λογισμικό σε περιβάλλον Linux, Windows και MacOS και η υποστήριξη που υπάρχει από μια σημαντική κοινότητα ερευνητών στο διαδίκτυο στην οποία μπορεί να απευθυνθεί ο χρήστης για την επίλυση προβλημάτων που συναντά κατά τη συγγραφή του κώδικα. Είναι αρκετά παρόμοια με άλλα προγραμματιστικά πακέτα όπως η MATLAB (που δεν είναι ελεύθερο λογισμικό), αλλά πιο φιλική προς τον χρήστη από γλώσσες προγραμματισμού όπως η C++ και η Fortran. Στη συγκεκριμένη εργασία,

---

<sup>80</sup> Moore 2018, 2

επιλέχθηκε συνδυασμός της χρήσης της R με την διεπαφή του RStudio, επίσης ελεύθερο λογισμικό το οποίο έχει μια οργανωμένη διάταξη και διάφορες πρόσθετες επιλογές<sup>81</sup>.

Το βασικό πακέτο R περιλαμβάνει τις κυριότερες στατιστικές τεχνικές και γραφήματα αλλά μπορεί να επεκταθεί με πληθώρα πακέτων που είναι διαθέσιμα μέσω του δικτύου CRAN (<http://cran.r-project.org/>), πολλά από τα οποία έχουν δημιουργηθεί από επιστήμονες του χώρου της στατιστικής και της ανάλυσης δεδομένων, καλύπτοντας ένα ευρύ φάσμα των σύγχρονων στατιστικών αναλύσεων. Αποτελεί, με άλλα λόγια, μια δωρεάν πλούσια ομάδα εργαλείων ανάλυσης, προσομοίωσης και απεικόνισης δεδομένων μέσω συναρτήσεων η χρήση των οποίων γίνεται διαθέσιμη αμέσως μετά την εγκατάσταση του προγράμματος και των απαραίτητων πακέτων με την εκτέλεσή τους. Για τις αναλύσεις που αφορούν στα δεδομένα των ταμιευτήρων που μελετώνται στη συγκεκριμένη εργασία, χρησιμοποιήθηκε η έκδοση R 3.6.0 και τα πακέτα WRSS (Water Resources System Simulator) και Reservoir, τα οποία θα περιγραφούν στη παρακάτω.

**Εγκατάσταση της R:** Η εγκατάσταση της R στον υπολογιστή γίνεται δωρεάν πηγαίνοντας στην αρχική σελίδα του ιστοτόπου της R: <http://www.r-project.org/>, κάνοντας κλικ στο download CRAN στην αριστερή στήλη, επιλέγοντας τον ιστότοπο από τον οποίο θα γίνει η λήψη και το λειτουργικό σύστημα του υπολογιστή όπου θα πραγματοποιηθούν οι αναλύσεις (Linux, Windows ή MacOS), Η επιλογή base και Download R 3.0.3 για το περιβάλλον που επιθυμούμε με τις προεπιλεγμένες απαντήσεις σε όλες τις ερωτήσεις, οδηγούν στην εγκατάσταση. Είναι επίσης δυνατόν να εκτελεστεί η R και το R Studio μέσω ενός USB αντί εγκατάστασης. Αυτό θα μπορούσε να φανεί χρήσιμο όταν δεν υπάρχουν δικαιώματα διαχειριστή στον υπολογιστή. Μετά την ολοκλήρωση της εγκατάστασης, κάνοντας κλικ στο εικονίδιο R, γίνεται η εκκίνηση της τυπικής διεπαφής<sup>82</sup>.

**Εγκατάσταση RStudio:** Η εγκατάσταση της RStudio γίνεται από τον ιστότοπο: <http://www.rstudio.org/> κάνοντας κλικ στο Download RStudio, στη συνέχεια Download RStudio Desktop, κλικ στο Recommended For Your System και τέλος

---

<sup>81</sup> Torfs & Brauer 2014, 1-2

<sup>82</sup> Torfs & Brauer 2014, 1-2

κατεβάζοντας το εκτελέσιμο .exe αρχείο και τρέχοντας το (προεπιλεγμένες απαντήσεις για όλες τις ερωτήσεις)<sup>83</sup>.

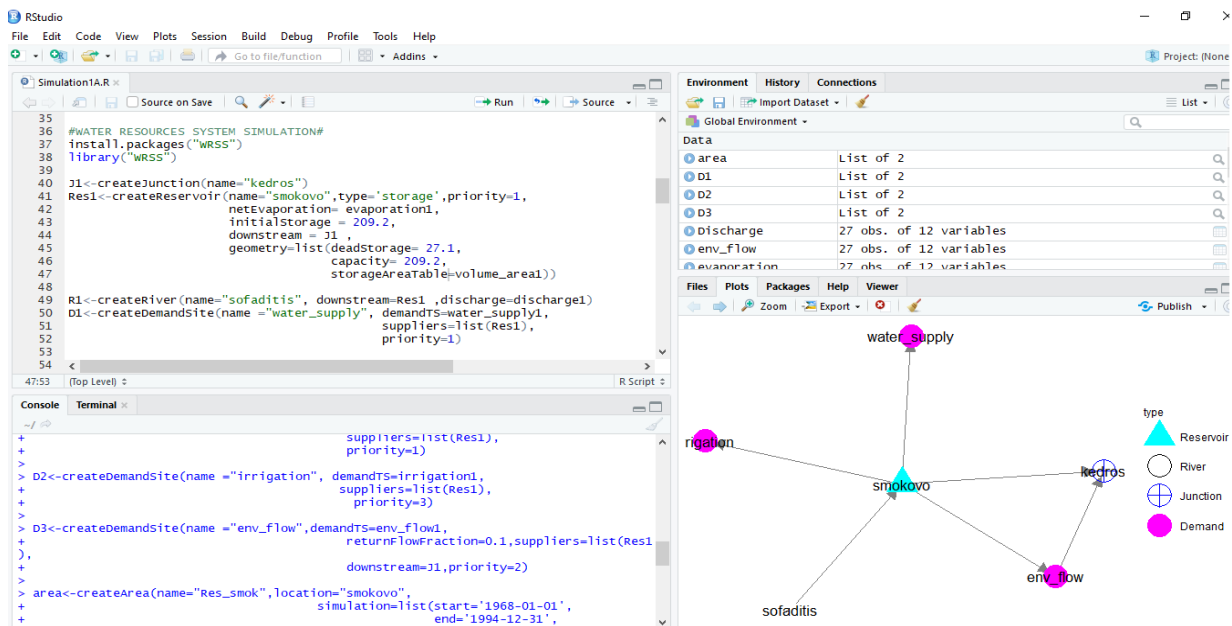
**Διάταξη του R Studio:** Η διεπαφή του RStudio αποτελείται από διάφορα παράθυρα (βλέπε το Σχήμα).

- Κάτω αριστερά: παράθυρο κονσόλας (καλείται επίσης και παράθυρο εντολών). Εδώ εισάγονται απλές εντολές μετά το σύμβολο υποβολής “>” και η R στη συνέχεια εκτελεί την εντολή. Αυτό είναι το πιο σημαντικό παράθυρο, επειδή στην πραγματικότητα εκεί τρέχει η R.
- Πάνω αριστερά: παράθυρο επεξεργαστή κειμένου (καλείται επίσης και παράθυρο σεναρίων). Εδώ μπορούν να υποστούν επεξεργασία και να σωθούν σύνολα από εντολές (σενάρια). Όταν δεν υπάρχει αυτό το παράθυρο, μπορεί να το ανοίξει μέσω της διαδρομής File → New → R script. Η απλή πληκτρολόγηση μιας εντολής στο παράθυρο του επεξεργαστή δεν είναι αρκετή, πρέπει επίσης να πάει και στο παράθυρο εντολών πριν η R μπορέσει να εκτελέσει την εντολή αυτή. Για να τρέξει μία γραμμή από το παράθυρο σεναρίων (ή και ολόκληρο το σενάριο), πρέπει να γίνει κλικ στο Run με τα πλήκτρα CTRL+ENTER, ώστε να σταλθεί στο παράθυρο εντολών.
- Πάνω δεξιά: χώρος εργασίας/ιστορικό. Στο παράθυρο του χώρου εργασίας φαίνονται ποια δεδομένα και ποιες τιμές έχει η R στη μνήμη της. Ο έλεγχος και η επεξεργασία των τιμών γίνεται κάνοντας κλικ πάνω τους. Το παράθυρο του ιστορικού δείχνει το τι έχει πληκτρολογηθεί παλιότερα.
- Κάτω δεξιά: αρχεία / γραφικές παραστάσεις / πακέτα / βοήθεια. Εδώ μπορούν να ανοίξουν αρχεία, να εμφανιστούν γραφικές παραστάσεις (και προηγούμενες γραφικές παραστάσεις, επίσης), να εγκατασταθούν και να φορτώσουν πακέτα ή να χρησιμοποιηθεί η λειτουργία της βοήθειας. Μπορείτε να αλλάξει το μέγεθος των παραθύρων σέρνοντας τα γκρίζα διαχωριστικά μεταξύ των παραθύρων<sup>84</sup>.

---

<sup>83</sup> Torfs & Brauer 2014, 1-2

<sup>84</sup> Torfs & Brauer 2014, 1-2



Σχήμα 5: Διάταξη R-Studio: Τα παράθυρα του επεξεργαστή κειμένου (editor), του χώρου εργασίας (workspace), της κονσόλας (console) και των γραφικών παραστάσεων (plots) στο RStudio.

## Πακέτο WRSS:

Παρακάτω, παρουσιάζεται μεταφρασμένο τμήμα του εγχειριδίου χρήσης του πακέτου WRSS.

Τίτλος: Water Resources System Simulator
Προϋποθέσεις: R ( $\geq 3.0.0$ ), graphics, stats, Hmisc, nloptr
Έκδοση: 2.3
Ημερομηνία: 01-04-2019
Συντάκτες: Rezgar Arabzadeh, Parisa Aberi, Kaveh Panaghi, Shahab Araghinejad,
Συντηρητής: Rezgar Arabzadeh<rezgararabzadeh@ut.ac.ir>
Άδεια: GPL-3I
Εισήχθησαν: ggplot2, GGally, network
Αποθήκευση: CRAN
Ημερομηνία Έκδοσης: 2019-04-01 12:40:03 UT

**Περιγραφή:** Το WRSS (Water Resources System Simulator- Προσομοιωτής Συστήματος Υδατικών Πόρων) είναι ένα αντικειμενοστρεφές πακέτο της R, το οποίο παρέχει εργαλεία προσομοίωσης και ανάλυσης συστημάτων μεγάλης κλίμακας παροχής συστημάτων υδατικών πόρων και υδροηλεκτρικών σταθμών (π.χ.

ταμιευτήρες, ποτάμια κλπ.) με βάση την τυπική πολιτική λειτουργίας (Standard Operating Policy-SOP). Το πακέτο περιλαμβάνει συναρτήσεις και μεθόδους για την κατασκευή, την προσομοίωση και την απεικόνιση συστημάτων υδατικών πόρων και περιλαμβάνει τρεις κύριους τύπους αντικειμένων, όπως παρουσιάζεται παρακάτω.

#### *Συναρτήσεις:*

1. Συναρτήσεις για κατασκευή και διαχείριση των χαρακτηριστικών των συστημάτων υδατικών πόρων:
  - a) `createArea`, για τη δημιουργία λεκάνης απορροής/περιοχής μελέτης
  - b) `createJunction`, για δημιουργία κόμβων
  - c) `createRiver`, για δημιουργία καναλιών, ρεμάτων και ποταμών
  - d) `createReservoir`, για δημιουργία ταμιευτήρων
  - e) `createDiversion`, για δημιουργία εκτροπής
  - f) `createAquifer`, για δημιουργία υδροφορέα
  - g) `createDemandSite`, για δημιουργία θέσεων ζήτησης
  - h) `set.as` εργαλείο συνδυασμού των επιμέρους αντικειμένων του πακέτου
  - i) `addObjectToArea`, προσθέτει τα αντικείμενα που αναφέρθηκαν από τις παραπάνω συναρτήσεις κατασκευής, σε μια λεκάνη απορροής της τάξης `createBasin`
2. Συναρτήσεις για ανάλυση και λειτουργία των αντικειμένων του συστήματος υδατικών πόρων χρησιμοποιώντας τυπική πολιτική λειτουργίας- Standard Operating Policy(SOP):
  - a) `riverRouting`, λειτουργία ποταμού και χρήσεις
  - b) `reservoirRouting`, λειτουργία ταμιευτήρα
  - c) `aquiferRouting`, λειτουργία υδροφορέα
  - d) `diversionRouting`, λειτουργία εκτροπής
  - e) `sim`, προσομοιώνει τα αντικείμενα της τάξης `createArea`
  - f) `ripr1`, υπολογίζει τον όγκο αποθήκευσης χωρίς αστοχία χρησιμοποιώντας αλγόριθμο διαδοχικών αιχμών- sequent peak algorithm(SPA)
3. Συναρτήσεις για την ανάλυση και την οπτικοποίηση της απόδοσης:

- a) `plot.sim`, σχεδιάζει τα αποτελέσματα της προσομοίωσης των αντικειμένων της τάξης `sim`
- b) `plot.createArea`, σχεδιάζει ένα αντικείμενο της τάξης `createArea`
- c) `risk`, υπολογίζει κριτήρια βάσει επικινδυνότητας για ένα αντικείμενο από την τάξη `sim`<sup>85</sup>.

### Πακέτο RESERVOIR:

Παρακάτω, παρουσιάζεται μεταφρασμένο τμήμα του εγχειριδίου χρήσης του πακέτου WRSS.

<i>Τίτλος:</i> Tools for Analysis, Design, and Operation of Water Supply Storages-
<i>Έκδοση:</i> 1.1.5
<i>Ημερομηνία:</i> 14-04-2016
<i>Συντάκτες:</i> r Sean Turner [aut, cre], Jia Yi Ng [aut], Stefano Galelli [aut]
<i>Συντηρητής:</i> SeanTurner<swd.turner@gmail.com>
<i>Άδεια:</i> GPL (>= 2)
<i>Εισήχθησαν:</i> gtools, stats, graphics
<i>Αποθήκευση:</i> CRAN
<i>URL:</i> <a href="https://cran.r-project.org/package=reservoir">https://cran.r-project.org/package=reservoir</a>
<i>Ημερομηνία Έκδοσης:</i> 2016-04-14 14:50:03

*Περιγραφή:* Χρησιμοποιείται για μέτρηση των επιδόσεων του συστήματος τροφοδοσίας νερού απλής αποθήκευσης χρησιμοποιώντας μετρήσεις ελαστικότητας, αξιοπιστίας και ευαισθησίας. Είναι ένα εργαλείο για την αξιολόγηση των σχέσεων αποθέματος-απόδοσης-αξιοπιστίας, για τον προσδιορισμό της αποθήκευσης χωρίς αστοχία με ανάλυση διαδοχικών αιχμών, για τη βελτιστοποίηση των αποφάσεων εκροής στην ύδρευση, στους υδροηλεκτρικούς σταθμούς και στις δεξαμενές πολλαπλών χρήσεων χρησιμοποιώντας ντετερμινιστικό και στοχαστικό δυναμικό προγραμματισμό. Ακόμη, παράγει επαναλήψεις της εισροής με χρήση παραμετρικών και μη παραμετρικών μοντέλων, και αξιολογεί την εμμονή της εισροής μέσω της σταθεράς Hurst.

<sup>85</sup> Arabzadeh et. al. 2019, 1-54

*Συναρτήσεις:* Το πακέτο *reservoir* περιλαμβάνει συναρτήσεις ανάλυσης και σχεδιασμού, βελτιστοποίησης, παραγωγής συνθετικών χρονοσειρών και σχέσεων αποθήκευσης, βάθους και απόδοσης ταμιευτήρα, οι οποίες συγκεκριμένα είναι:

1. Συναρτήσεις Ανάλυσης και Σχεδιασμού

- a) *ripp1*, ανάλυση *Ripp1*
- b) *storage*, *Storage-Reliability- Yield (SRY)*, σχέσεις Αποθήκευσης-Αξιοπιστίας- Απόληψης, υπολογισμός αποθήκευσης
- c) *yield*, *Storage-Reliability- Yield (SRY)*, σχέσεις Αποθήκευσης-Αξιοπιστίας- Απόληψης, υπολογισμός απόληψης
- d) *simRes*, προσομοίωση ταμιευτήρα τροφοδότησης νερού με συγκεκριμένη πολιτική λειτουργίας
- e) *Hurst*, υπολογισμός σταθεράς *Hurst*
- f) *rrv*, (*reliability resilience and vulnerability*), ανάλυση αξιοπιστίας, ελαστικότητας και ευαισθησίας για ταμιευτήρες τροφοδότησης νερού
- g) *resX*, χρονοσειρά *X* εισροής ταμιευτήρα και λεπτομέρειες ταμιευτήρα

2. Συναρτήσεις Βελτιστοποίησης

- a) *dp*, δυναμικός προγραμματισμός
- b) *sdp*, δυναμικός στοχαστικός προγραμματισμός
- c) *dp\_supply*, δυναμικός προγραμματισμός για ταμιευτήρες τροφοδότησης νερού
- d) *sdp\_supply*, στοχαστικός δυναμικός προγραμματισμός για ταμιευτήρες τροφοδότησης νερού
- e) *dp\_hydro* , δυναμικός προγραμματισμός σε ταμιευτήρες με υδροηλεκτρικό σταθμό
- f) *sdp\_hydro*, στοχαστικός δυναμικός προγραμματισμός για ταμιευτήρα με υδροηλεκτρικό σταθμό
- g) *dp\_multi*, δυναμικός προγραμματισμός με πολλαπλούς στόχους (τροφοδοσία, έλεγχος πλημμύρων)
- h) *sdp\_multi*, στοχαστικός δυναμικός προγραμματισμός με πολλαπλούς στόχους (τροφοδοσία, έλεγχος πλημμύρων)

3. Συνάρτηση Παραγωγής Συνθετικών Χρονοσειρών Εισροής

- a) dirtyreps, γρήγορη δημιουργία επαναλήψεων (χρονοσειρών)  
εποχιακής ροής για απλή ζήτηση στοχαστικά

#### 4. Σχέσεις Αποθήκευσης-Βάθους-Απόληψης

Οι συναρτήσεις ανάλυσης και βελτιστοποίησης ταμιευτήρων, με εξαίρεση τις `rippl`, `storage`, και `yield`, επιτρέπουν στον χρήστη να υπολογίσει τις απώλειες εξάτμισης από την επιφάνεια του ταμιευτήρα. Το πακέτο ενσωματώνει δύο σχέσεις βάθους-αποθήκευσης-επιφάνειας για την αντιστοίχιση της επιφάνειας (και επομένως της δυνητικής εξάτμισης) με την αποθήκευση. Η απλούστερη σχέση βασίζεται στη μέθοδο `half pyramid` [Liebe et al, 2005], ζητώντας από τον χρήστη να εισάγει την επιφάνεια της δεξαμενής σε πλήρη χωρητικότητα μέσω του παραμέτρου `surface_area`. Μια πιο ακριβής σχέση [Kaveh et al., 2013] προκύπτει εάν ο χρήστης εισάγει επίσης το μέγιστο βάθος της δεξαμενής σε πλήρη χωρητικότητα μέσω της παραμέτρου `max_depth`. Οι χρήστες πρέπει να χρησιμοποιούν τις συνιστώμενες μονάδες κατά την εφαρμογή των απωλειών εξάτμισης<sup>86</sup>.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### Περιοχή Μελέτης: Ταμιευτήρες της Θεσσαλίας

Στην παρούσα εργασία επιχειρείται η προσομοίωση τριών ταμιευτήρων της περιοχής του γεωγραφικού διαμερίσματος της Θεσσαλίας: των ταμιευτήρων του Σμοκόβου, της Γυρτώνης και της Κάρλας.

Η Θεσσαλία, ως γεωγραφικός χώρος, βρίσκεται στο βορειοανατολικό τμήμα της Κεντρικής Ελλάδας και περιλαμβάνει τόσο πεδινές όσο και ορεινές περιοχές. Έχει συνολική έκταση 14.036 τετραγωνικά χιλιόμετρα, έκταση που αντιπροσωπεύει περίπου το 11% της συνολικής έκτασης της Ελλάδας. Η περιφέρεια έχει συνολικό πληθυσμό 732.762 κατοίκους, σύμφωνα με την απογραφή του 2011, και αποτελείται από 4 νομούς: το νομό Λάρισας με πρωτεύουσα τη Λάρισα, το νομό Μαγνησίας με πρωτεύουσα το Βόλο, το νομό Καρδίτσας με πρωτεύουσα τη Καρδίτσα και τέλος το νομό Τρικάλων με πρωτεύουσα τα Τρίκαλα<sup>87</sup>.

<sup>86</sup> Turner 2016, 1-24

<sup>87</sup> Βασιλειάδης & Λουκάς 2014, 3



Η Θεσσαλία ανατολικά βρέχεται σε σχεδόν ευθύγραμμη ακτογραμμή από το Αιγαίο Πέλαγος. Χωρίζεται από την κεντρική και δυτική Μακεδονία από τους ορεινούς όγκους του Κάτω Ολύμπου (μέγιστο υψόμετρο 1588 m), του Άνω ή Υψηλού Ολύμπου (μέγιστο υψόμετρο 2917 m), του Τιτάρου (μέγιστο υψόμετρο 1839 m), των Καμβουνίων (μέγιστο υψόμετρο 1615 m), των Αντιχασίων (μέγιστο υψόμετρο 1416 m) και Χασίων (μέγιστο υψόμετρο 1564 m). Δυτικά, η Θεσσαλία χωρίζεται από την ήπειρο από την οροσειρά της Νότιας Πίνδου (μέγιστο υψόμετρο 2.204m). Το νότιο όριο Θεσσαλίας και Στερεάς Ελλάδας διαμορφώνεται, από την δύση προς την ανατολή, αρχικά από μικρό τμήμα του Αχελώου<sup>88</sup>.

Πρόκειται για μια περιοχή ταυτισμένη με την έννοια του κάμπου καθώς η μεγάλη έκταση της πεδιάδας την επηρεάζει τόσο μορφολογικά όσο και οικονομικά, καθιστώντας τη μια εύφορη, παραγωγική πεδιάδα με άφθονους φυσικούς πόρους, κατάλληλη για γεωργική ανάπτυξη. Συνεπώς, το μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού ασχολείται με τον πρωτογενή τομέα, κυρίως τη γεωργία. Παρατηρούνται υδατικές καταναλώσεις για άρδευση αλλά και για ύδρευση για αστική και βιομηχανική χρήση, κτηνοτροφία και τουρισμό.

**Γεωμορφολογία:** Το μέσο υψόμετρο του υδατικού διαμερίσματος είναι 285 m και χωρίζεται από τα χαμηλά Χαλκοδόνια όρη στη δυτική και ανατολική πεδιάδα, τμήματα ίσης περίπου έκτασης ενώ περιφερειακά των πεδινών αυτών εκτάσεων βρίσκονται μεγάλοι ορεινοί όγκοι. Πιο συγκεκριμένα, γεωγραφικά όρια του ανατολικού τμήματος είναι: βόρεια ο Κάτω Όλυμπος και η Όσσα, ανατολικά το Μαυροβούνι και το βόρειο Πήλιο, νότια και νοτιοδυτικά τα Χαλκοδόνια και βορειοδυτικά το Ζάрко. Η νοτιοανατολική περιοχή περιλαμβάνει μια κλειστή λεκάνη, της αποξηρανθείσας λίμνης Κάρλας (Βοιβής), το χαμηλότερο τμήμα της οποίας προς το Βόλο προβλέπεται να επανέλθει στην φυσική του κατάσταση. Στη βόρειο-ανατολική Θεσσαλία εντάσσονται και οι ορεινές, αλλά αξιόλογης έκτασης, καλλιεργούμενες εκτάσεις της Ελασσόνας και του Δαμασίου. Από την περιοχή αυτή διέρχεται ο Τιταρήσιος, ο οποίος έχει σημαντική παροχή που όμως κατά τους καλοκαιρινούς μήνες μπορεί να περιοριστεί εξαιρετικά έως και να μηδενισθεί. Εκτός αυτού, μεγάλο μέρος των υδάτων του Τιταρήσιου τροφοδοτούν τον υπόγειο υδροφορέα. Στις υπόλοιπες περιοχές της Ανατολικής Θεσσαλίας έως και το δυτικό όριο των Χαλκοδονίων ορέων, είναι έντονη η πτώση του υπογείου υδροφορέα. Όλες

---

<sup>88</sup> Βασιλειάδης & Λουκάς 2014, 3

σχεδόν οι καλλιεργούμενες εκτάσεις αρδεύονται από γεωτρήσεις, στην πλειοψηφία τους ιδιωτικές. Οι μόνες εκτάσεις που αρδεύονται από επιφανειακά νερά βρίσκονται στην περιφέρεια της πεδιάδας κοντά στις ορεινές εκτάσεις και δεν απέχουν παρά μερικές εκατοντάδες μέτρα από την κοίτη του πλησιέστερου ποταμού. Ακόμα, απολήψεις πραγματοποιούνται στις περιοχές απ' όπου περνάει ο ποταμός Πηνειός, οι οποίες διαθέτουν οργανωμένα δίκτυα από τους Τοπικούς Οργανισμούς Εγγείων Βελτιώσεων- ΤΟΕΒ της περιοχής. Η Λάρισα αποτελεί μεγάλο αστικό κέντρο της περιοχής. Το δυτικό τμήμα της Θεσσαλικής πεδιάδας ορίζεται γεωγραφικά ως εξής: ανατολικά από τα Χαλκοδόνια όρη, βορειοανατολικά από το Ζάρκο, βόρεια από τα Χάσια και τα Αντιχάσια όρη, δυτικά από το Κερκέτιον όρος (Κόζιακας) και νότια από το Ναθράκιο, τους πρόποδες του όρους Τυμφρηστός και την αποξηρανθείσα λίμνη Ξυνιά. Η δυτική Θεσσαλία διαθέτει αρκετούς παραποτάμους του Πηνειού οι οποίοι ακόμα και τους καλοκαιρινούς μήνες έχουν έστω και μικρή παροχή. Στην δυτική Θεσσαλία, νοτιοδυτικά της Καρδίτσας υπάρχει εν λειτουργία ταμιευτήρας, το φράγμα Ταυρωπού, το οποίο υδρολογικά ανήκει στη λεκάνη απορροής του Αχελώου. Όλες σχεδόν οι εκτάσεις, εκτός των αστικών κέντρων Τρίκαλα και Καρδίτσα, αποτελούν γεωργικές περιοχές οι οποίες αρδεύονται, ενώ κατά τόπους παρατηρούνται οργανωμένα δίκτυα άρδευσης. Προς τα βόρεια της περιοχής, οι καλλιέργειες σταματάνε στο όριο της πεδιάδας με τους πρόποδες των βουνών. Αντιθέτως, στα νότια παρατηρούνται καλλιέργειες ακόμα και στους πρόποδες των βουνών. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον είναι το γεγονός ότι στην κεντρική - ανατολική πλευρά της δυτικής πεδιάδας, οι καλλιέργειες φθάνουν σε υψόμετρο, έως και 500 μέτρα, λόγω των εξαιρετικά ομαλών κλίσεων των βουνών. Οι κυριότεροι ποταμοί που διατρέχουν την δυτική πλευρά είναι οι εξής: Ενιπέας, Φαρσαλίτης, Σοφαδίτικος, Καλέτζης, Πλιούρης, Πάμισος, Ληθαίος και Ντολερίτης. . Ο κύριος υδάτινος αποδέκτης της Θεσσαλίας είναι ο ποταμός Πηνειός με σημαντικό αριθμό παραποτάμων- κυριότεροι των οποίων είναι ο Τιταρήσιος και ο Ενιπέας- και τάφρων που έχουν σαν τελικό αποδέκτη το Αιγαίο Πέλαγος. Το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής αποτελούμενο από τον ποταμό Πηνειό τους παραπόταμους και το εκτεταμένο δίκτυο χειμάρρων, ρεμάτων και τεχνητών τάφρων δημιουργούν την ουσιαστικότερη εναλλαγή στο επίπεδο και ομαλό ανάγλυφο των πεδινών εκτάσεων<sup>89</sup>.

---

<sup>89</sup> Βασιλειάδης & Λουκάς 2014, 4

**Λεκάνες απορροής μελέτης:** Οι λεκάνες που μελετώνται στην παρούσα εργασία είναι οι λεκάνες Πηνειού και Κάρλας. Η λεκάνη απορροής του Πηνειού ποταμού είναι η κύρια υδρολογική λεκάνη του υδατικού διαμερίσματος της Θεσσαλίας. Ο Πηνειός, ποταμός μήκους 217 km, και οι παραπόταμοι του διασχίζουν όλη την Θεσσαλία και την λεκάνη απορροής της, της οποίας η έκταση είναι περίπου 9500 km<sup>2</sup> μέχρι και τα στενά των Τεμπών. Το νερό του δικτύου αυτού χρησιμοποιείται κυρίως για την άρδευση των καλλιεργειών και για την παραγωγή ενέργειας του υδροηλεκτρικού σταθμού του Σμοκόβου. Η δεύτερη λεκάνη απορροής είναι αυτή της Κάρλας, όπου λειτουργούν, ή είναι υπό κατασκευή τα μεγάλα έργα ταμίευσης νερού (ταμιευτήρας Κάρλας) καθώς και μικροί ταμιευτήρες και λιμνοδεξαμενές. Στη λεκάνη αυτή υφίστανται δύο δίκτυα άρδευσης, την χρήση των οποίων έχουν ο ΤΟΕΒ Πηνειού και ο ΤΟΕΒ Κάρλας.

**Κλιματολογικά Στοιχεία:** Το κλίμα στην πεδιάδα της Θεσσαλίας χαρακτηρίζεται εύκρατο με ηπειρωτικές περιόδους και διαφορετικές θερμομετρικές διακυμάνσεις ως προς το εύρος κατά την διάρκεια του έτους. Παρατηρείται ξηρό και θερμό καλοκαίρι και ήπιος και υγρός χειμώνας. Τον Οκτώβριο ξεκινούν συνθήκες ύφεσης οι οποίες έχουν ως αποτέλεσμα αυξημένη υγρασία, βροχόπτωση και παρουσία ομίχλης και διαρκούν μέχρι τον Απρίλιο. Κατά την διάρκεια του καλοκαιριού παρατηρείται απουσία βαροβαθμίδας η οποία έχει ως συνέπεια την εμφάνιση επιπλέον ξηρασίας λόγω της ομοιόμορφης κατανομής της πίεσης η οποία ευθύνεται για τις αυξημένες θερμοκρασίες που απαντώνται στην περιοχή κατά την διάρκεια του καλοκαιριού. Το υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας διαιρείται, με βάση τον τύπο κλίματος σε τρεις κύριες περιοχές: την ανατολική παράκτια και ορεινή, με μεσογειακό κλίμα, την κεντρική πεδινή, με ηπειρωτικό κλίμα και την δυτική ορεινή, με ορεινό κλίμα. Τα μετεωρολογικά στοιχεία, τα οποία προσδιορίζουν και το κλίμα της περιοχής είναι τα παρακάτω:

**Θερμοκρασία:** Η μέση ετήσια θερμοκρασία κυμαίνεται από 16 °C ως 17 °C. Το ετήσιο θερμομετρικό εύρος ξεπερνά τους 22 °C. Οι πιο θερμοί μήνες είναι ο Ιούλιος και ο Αύγουστος και οι πιο ψυχροί ο Ιανουάριος, ο Φεβρουάριος και ο Δεκέμβριος. Οι παγετοί είναι συχνοί και εμφανίζονται κατά την περίοδο Νοεμβρίου - Απριλίου. Οι ημέρες παγετού κυμαίνονται από 35.5 στη Λάρισα και 33.8 στα Τρίκαλα σε μέση ετήσια βάση.

*Βροχοπτώσεις:* Το ύψος των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων στο διαμέρισμα είναι σχετικά μεγάλο στα δυτικά, στη συνέχεια μειώνεται στο πεδινό τμήμα και αυξάνεται πάλι στο ορεινό ανατολικό τμήμα. Η μέση ετήσια βροχόπτωση σε ολόκληρη την περιοχή της Θεσσαλίας είναι περίπου 700 mm και κατανέμεται ανομοιόμορφα τόσο χωρικά όσο και χρονικά. Η μέση ετήσια βροχόπτωση ποικίλει από περίπου 400 mm στο κεντρικό τμήμα, έως και περισσότερο από 1850 mm στις δυτικές ορεινές περιοχές. Ενδεικτικές τιμές της ετήσιας βροχόπτωσης είναι 468 mm στο σταθμό Λάρισας, 550 mm στο σταθμό Τυρνάβου και 1142 mm στον πιο ορεινό σταθμό του Μουζακίου. Οι πιο βροχεροί μήνες είναι από τον Οκτώβριο ως τον Ιανουάριο, ενώ οι πιο ξηροί ο Ιούλιος και ο Αύγουστος.

*Χιονοπτώσεις:* Οι ορεινές περιοχές δέχονται σημαντικές ποσότητες χιονιού κατά την διάρκεια του χειμώνα οι οποίες και αποτελούν σημαντικά υδατικά αποθέματα. Οι χιονοπτώσεις είναι συνηθισμένες, ιδιαίτερα στα ορεινά του διαμερίσματος και γίνονται πιο έντονες από τα νότια προς τα βόρεια και από τα ανατολικά προς τα δυτικά. Οι περισσότερες χιονοπτώσεις παρατηρούνται κατά τους μήνες Ιανουάριο και Φεβρουάριο. Στα δυτικά και ορεινά τμήματα του διαμερίσματος αρχίζουν τον Σεπτέμβριο και φτάνουν μέχρι και τις αρχές Ιουλίου. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι ο μέσος ετήσιος αριθμός ημερών χιονιού στη Λάρισα είναι 4,0 και στα Τρίκαλα 6,2. Οι χαλαζοπτώσεις είναι επίσης συχνές, κυρίως κατά τους μήνες Μάιο και Ιούνιο στα βόρεια του διαμερίσματος και κατά τους μήνες Φεβρουάριο ως Απρίλιο στο νότιο και ανατολικό τμήμα.

*Νέφωση – Ηλιοφάνεια:* Η μέση ετήσια νέφωση κυμαίνεται από 4 ως 5 βαθμίδες, με τις υψηλότερες τιμές να εμφανίζονται στα δυτικά και τις χαμηλότερες στα ανατολικά.

*Υγρασία:* Η μέση ετήσια σχετική υγρασία κυμαίνεται από 67% μέχρι 72% και παρουσιάζει μεταβολές τόσο στη διάρκεια του 24ώρου όσο και του έτους.

*Ξηρές περίοδοι:* Στο νότιο τμήμα του διαμερίσματος εμφανίζεται ξηρή περίοδος 4 ως και 5 μηνών στα ανατολικά, η οποία όμως μειώνεται βαθμιαία σε 2 ως 4 μήνες στα κεντρικά - δυτικά πεδινά και 1 ως 2 μήνες στα δυτικά ορεινά.

*Άνεμοι:* Η κατανομή της ατμοσφαιρικής πίεσης σε συνδυασμό με το ανάγλυφο και με την κατανομή ξηράς - θάλασσας, αποτελούν βασικό αίτιο της δημιουργίας των ανέμων. Οι άνεμοι μπορεί να οφείλονται σε γενικότερα αίτια κατανομής της πίεσης στο βόρειο ημισφαίριο ή συνδέονται συχνά με <<τύπους καιρού>> του Ελληνικού

χώρου. Η συχνότητα της διεύθυνσης των ανέμων σύμφωνα με σταθμούς παρουσιάζει την μεγαλύτερη τιμή στη βόρεια συνιστώσα και ακολουθεί η νότια. Η συχνότητα εμφάνισης των ανέμων εξαρτάται τόσο από την εποχή όσο και τον μήνα ώστε οι άνεμοι να διακρίνονται σε ανατολικούς οι οποίοι επικρατούν την περίοδο άνοιξης – καλοκαιριού, ανατολικοί – βορειοανατολικοί κατά την διάρκεια του φθινοπώρου και τέλος βορειοανατολικοί οι οποίοι πνέουν κατά την διάρκεια του χειμώνα. Ετησίως η συχνότητα των ανέμων χαρακτηρίζεται έντονη κατά τους χειμερινούς μήνες (Δεκέμβριος) και ελαχιστοποιείται μέσα καλοκαιριού (Ιούλιος). Οι ταχύτητες των παραπάνω ανέμων είναι της τάξης των 1-3 Bf με μέγιστη ταχύτητα τα 8 Bf. Η επικρατούσα φορά των ανέμων στο διαμέρισμα ποικίλει, με ανατολικούς στη Λάρισα και δυτικούς στα Τρίκαλα<sup>90</sup>.

**Υδρογεωλογικά στοιχεία:** Η μορφολογία και η γεωλογική δομή του Υδατικού Διαμερίσματος Θεσσαλίας χωρίζουν την περιοχή σε δύο τύπους: τις ιζηματογενείς λεκάνες από νεογενή και τεταρτογενή υλικά και τους ορεινούς όγκους οι οποίοι τις περικλείουν και που δομούνται από ανθρακικά πετρώματα, οφιόλιθους, σχιστογενέσιους και φλύσχη. Οι δύο αυτές αυτοτελείς λεκάνες είναι η Ανατολική και η Δυτική πεδιάδα και αποτελούν τους δύο μεγάλους υπόγειους υδροφορείς του ποταμού Πηνειού. Αποτελούν το σημαντικότερο υδατικό σύστημα υπογείων νερών της Θεσσαλίας κι ένα από τα σημαντικότερα της χώρας μας. Η υδραυλική επικοινωνία μεταξύ τους γίνεται κατά κύριο λόγο μέσω της επιφανειακής απορροής του Πηνειού και δευτερευόντως μέσω των καρστικών συστημάτων. Η πεδιάδα της Θεσσαλίας, και στα δύο της τμήματα, δυτικό και ανατολικό, αποτελεί ένα μεγάλο τεκτονικό βύθισμα που βρίσκεται μεταξύ δύο μεγάλων γεωτεκτονικών μονάδων του Ελληνικού χώρου, της Πίνδου στα Δυτικά – Νοτιοδυτικά και των Πελαγονικών ορεινών όγκων (Ολυμπος, Όσσα, Μαυροβούνι, Πήλιο) προς τα βόρεια και ανατολικά. Το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό της Θεσσαλίας, το οποίο καθορίζει την υδρογεωλογία της, είναι ότι αποτελείται από δυο διαφορετικές μορφολογικές ενότητες: Αυτήν που αναπτύσσεται στον άξονα Τρικάλων – Καρδίτσας και αυτή του άξονα Λάρισας – Κάρλας, που δεν είναι άλλες από τους δυο μεγάλους υδροφορείς του Πηνειού και της Θεσσαλίας που αναφέρθηκαν παραπάνω [Μαρίνος και συνεργάτες, 1995]. Τρείς είναι οι κύριοι τύποι υδροφόρων οριζόντων που αναπτύσσονται και στις δυο λεκάνες και στα κράσπεδα αυτών: οι φρεάτιοι υδροφόροι

---

<sup>90</sup> Βασιλειάδης & Λουκάς 2014, 5-6

ορίζοντες (με ελεύθερη πιεζομετρική επιφάνεια), οι υπό πίεση υδροφόροι ορίζοντες και οι καρστικοί υδροφόροι ορίζοντες<sup>91</sup>.

**Υδατικοί πόροι:** Οι υδατικοί πόροι του Υδατικού Διαμερίσματος της Θεσσαλίας αποτελούνται από επιφανειακά καθώς και από υπόγεια νερά. Δεδομένου ότι υπάρχουν λιγοστά σημαντικά έργα ταμίευσης (με εξαίρεση τον ταμιευτήρα Πλαστήρα, τον ταμιευτήρα Σμοκόβου και τον ταμιευτήρα της Κάρλας), το επιφανειακό δυναμικό αναφέρεται στην παροχή των υδατορρευμάτων, η οποία παρουσιάζει έντονη χωρική και χρονική διακύμανση. Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό είναι ότι τα επιφανειακά νερά οριοθετούνται από το ποτάμιο υδροσύστημα και τις αντίστοιχες υδρολογικές λεκάνες, ενώ τα υπόγεια από τα αντίστοιχα υδρογεωλογικά όρια, τα οποία όμως δεν ταυτίζονται με αυτά των επιφανειακών<sup>92</sup>.

**Επιφανειακοί υδατικοί πόροι:** Τα επιφανειακά νερά, απαντώνται σε δύο μορφές. Η μία είναι τα ποτάμια ύδατα δηλαδή του Πηνειού και των κυρίων παραποτάμων του και η δεύτερη των ταμιευτήρων του Πλαστήρα, του Σμοκόβου και της Κάρλας. Επίσης, έχουν κατασκευαστεί μικρές λιμνοδεξαμενές σε διάφορα σημεία, σε κοντινή κυρίως απόσταση από τον ποταμό Πηνειό, προκειμένου να καλύψουν πρόσκαιρες ανάγκες των καλλιεργειών σε νερό και να συμβάλουν στο περιορισμό των απωλειών του στις την θάλασσα<sup>93</sup>.

**Υδατικές ανάγκες:** Στο υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας οι κυριότερες υδατικές ανάγκες αναφέρονται στη γεωργία, η οποία συμμετέχει στην κατανάλωση σε ποσοστό 96%, την κτηνοτροφία και την ύδρευση. Σε ετήσια βάση οι υδατικές ανάγκες της Θεσσαλίας εκτιμώνται σε 1.836 hm<sup>3</sup>, ποσότητα που αναλύεται σε 1.600 hm<sup>3</sup> για άρδευση, 136 hm<sup>3</sup> για ύδρευση και 100 hm<sup>3</sup> για περιβαλλοντική διατήρηση [ΕΥΔΕ Αχελώου και ΕΝΥΕΟ, 1995]. Σύμφωνα με τα στοιχεία της ΕΣΥΕ [1995], η συνολική αρδευόμενη έκταση εκτιμάται σε 2.360.917 στρέμματα ενώ για το έτος 1991 σε 1.935.291 στρέμματα. Εκτός αυτών των εκτιμήσεων το ΥΠΕΧΩΔΕ και το ΥΠΓΕ έχουν δώσει 1.894.000 και 1.640.275 στρέμματα αντίστοιχα. Οι αρδευτικές ανάγκες έχουν υπολογιστεί σε 1.463,2 hm<sup>3</sup> κατ' έτος με βάση το σύνολο των δυνάμενων να αρδευτούν εκτάσεων [ΥΒΕΤ, 1996]. Η κτηνοτροφία αποτελεί τον μικρότερο καταναλωτή νερών, αλλά σημαντικά μεγαλύτερο από άλλες μικρότερες

<sup>91</sup> Βασιλειάδης & Λουκάς 2014, 8

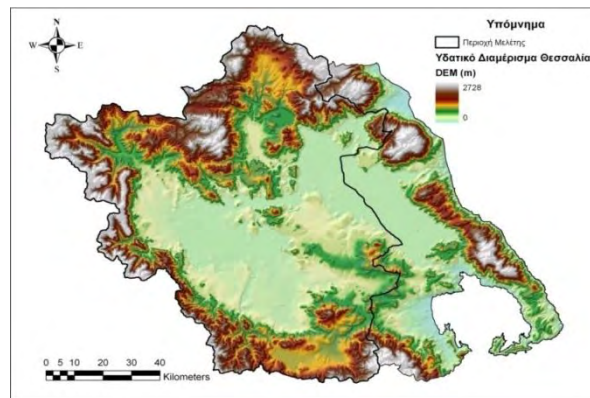
<sup>92</sup> Βασιλειάδης & Λουκάς 2014, 3

<sup>93</sup> Βασιλειάδης & Λουκάς 2014, 9

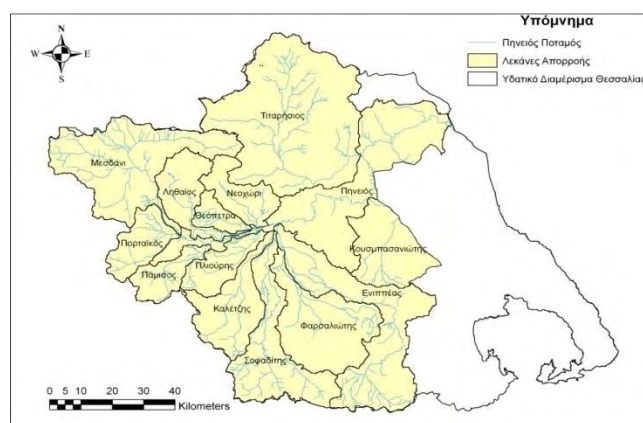


χρήσεις και με συγκρίσιμο μέγεθος ως προς τις απαιτήσεις της ύδρευσης. Οι υδατικές απαιτήσεις της κτηνοτροφίας ακολουθούν την ίδια ετήσια κατανομή με αυτή της ύδρευσης. Η εκτίμηση της ετήσιας ποσότητας νερού για υδρευτικές ανάγκες γίνεται με βάση στοιχεία της ΕΣΥΕ [1995] για το μόνιμο πληθυσμό των νομών του υδατικού διαμερίσματος και τις αντίστοιχες διανυκτερεύσεις τουριστών (3.250.000 κατά την εκτίμηση του ΚΕΠΕ) υπολογίστηκε σε 53,7 hm<sup>3</sup> ανά έτος για όλο το Υδατικό Διαμέρισμα<sup>94</sup>.

Για διευκόλυνση της έρευνας του πολύπλοκου συστήματος των ταμιευτήρων και για λεπτομερέστερη και ακριβέστερη κατανομή των ζητήσεων, επιλέχθηκε μελέτη του συστήματος κάθε ταμιευτήρα ξεχωριστά και χωρισμός σε τρεις υποπεριοχές, αντί δημιουργίας ενός πιθανού ενιαίου ομαδοποιημένου συστήματος.



Χάρτης 1: Υδατικό διαμέρισμα Θεσσαλίας και λεκάνη απορροής του Πηνειού ποταμού<sup>95</sup>.



Χάρτης 2: Κύριες υπολεκάνες του Πηνειού ποταμού<sup>96</sup>

<sup>94</sup> Βασιλειάδης & Λουκάς 2014, 9

<sup>95</sup> Βασιλειάδης & Λουκάς 2014, 4

#### 4.1 Ταμιευτήρας Γυρτώνης

**Έργο Γυρτώνης:** Η ολοκλήρωση της μελέτης του έργου για τις υπηρεσίες ΥΠΕΧΩΔΕ/ΕΥΔΕ/ΟΣΥΕ έγινε το 2004 από την «Κοινοπραξία Ρουφράκτη Γυρτώνης» (τεχνική εταιρεία μελετών ΥΔΡΕΤΜΕ) με προϋπολογισμό κατασκευής 38 εκατομμύρια €<sup>97</sup>. Η κατασκευή ξεκίνησε το 2007 από την εταιρία ΤΕΡΝΑ, ολοκληρώθηκε το 2013 και παραδόθηκε προσωρινά στον ΤΟΕΒ Πηνειού για λειτουργία. Το έργο περιλαμβάνει διώρυγες προσαγωγής – απαγωγής, προς την κοίτη του ποταμού Πηνειού, ρουφράκτη ύψους 15,60 m, με τα συνοδευτικά έργα (δέκα τοξωτά θυροφράγματα πλάτους 8.00 m το καθένα), και δημιουργεί ταμιευτήρα επιφάνειας 1.300 στρεμμάτων και όγκου περίπου 5.00 hm<sup>3</sup>, νερό που ανανεώνεται μέσω της απορροής του Πηνειού και διοχετεύεται σε εκτάσεις 120.000 στρεμμάτων της ευρύτερης περιοχής για άρδευση<sup>98</sup>. Κατασκευάζεται τοπικό κλειστό αρδευτικό δίκτυο στην περιοχή, λόγω κατάργησης των γεωτρήσεων, ενώ μελλοντικά προβλέπεται κατασκευή Υδροηλεκτρικού Σταθμού ισχύος 5MW (ετήσια παραγωγή 15 GWh). Μετά την ολοκλήρωση των απαραίτητων έργων, το Φράγμα Γυρτώνης θα τροφοδοτεί τον ταμιευτήρα της Κάρλας με βαρύτητα (χωρίς άντληση). Το φράγμα Γυρτώνης αποτελεί το πλέον κατάντη τεσσάρων φραγμάτων που έχουν κατά καιρούς μελετηθεί επί του ποταμού Πηνειού. Η υλοποίηση των άλλων τριών, Τερψιθέας, Αμυγδαλιάς και Τιτάνου, δεν έχει προγραμματιστεί<sup>99</sup>.

**Παράμετροι Σχεδιασμού:** Η επιλογή της θέσης του ρουφράκτη έγινε με κριτήρια υδραυλικά, γεωλογικά, γεωτεχνικά και κατασκευαστικά καθώς και με κριτήρια κόστους και σύντμησης του χρόνου κατασκευής, λαμβάνοντας υπόψη και την ταυτόχρονη λειτουργία του ποταμού. Για την ικανοποίηση των κριτηρίων, επιλέχθηκε ως καταλληλότερος ο τύπος φράγματος από σκυρόδεμα με κινητά θυροφράγματα, σε κατάλληλες διαστάσεις και αριθμό, ώστε να εξασφαλίζουν πλάτος και βάθος ελεύθερης διατομής αντίστοιχα με εκείνα της υφιστάμενης διατομής της χαμηλής κοίτης για την απρόσκοπτη διέλευση των πλημμυρών. Χαρακτηριστικό της ροής του ποταμού Πηνειού είναι η παρουσία επιπλεόντων φερτών που μπορούν να προκαλέσουν έμφραξη των ανοιγμάτων του ρουφράκτη. Για προστασία έχει εγκατασταθεί ανάντη του ρουφράκτη, δίκτυο από συρματόσχοινο που αναρτάται από

---

<sup>96</sup> Βασιλειάδης & Λουκάς 2014, 10

<sup>97</sup> [https://www.ypethe.gr/sites/default/files/basicpagefiles/1\\_2015\\_3\\_perigrafi\\_thyrofragmatos\\_gyrtonis.pdf](https://www.ypethe.gr/sites/default/files/basicpagefiles/1_2015_3_perigrafi_thyrofragmatos_gyrtonis.pdf)

<sup>98</sup> ΥΔΡΕΤΜΕ Ε.Ε. 2014, 1

<sup>99</sup> ΥΔΡΕΤΜΕ Ε.Ε. 2014, 1



σωληνωτούς πλωτήρες (log boom) και συγκρατείται και αγκυρώνεται σε κεφαλόδεσμους ομάδας πασσάλων τοποθετούμενων σε αρκετή απόσταση από τις όχθες<sup>100</sup>.



Εικόνα 10: Θυρόφραγμα Γυρτώνης<sup>101</sup>

**Περιγραφή του ρουφράκτη:** Ο ρουφράκτης αποτελείται από πέντε ανεξάρτητα συνεχόμενα δομικά τμήματα από σκυρόδεμα διαχωριζόμενα μεταξύ τους με αρμό στεγανοποιημένο κατά την περίμετρό του με στεγανωτική ταινία. Έτσι επιτυγχάνεται διαμήκης ευλυγισία και προσαρμοστικότητα προς τις τυχόν παραμορφώσεις της θεμελίωσης καθώς και διατήρηση στενής κατά το δυνατόν επαφής με την επιφάνεια εδράσεως. Κάθε δομικό τμήμα αποτελεί άκαμπτη κατασκευή με δύο φατνώματα ανοίγματος 8 m το καθένα, ελεγχόμενα με αντίστοιχα τοξωτά θυροφράγματα. Δηλαδή, αποτελείται συνολικά από δέκα ανοίγματα των 8 m, συνολικού πλάτους 91 m. Ο πυθμένας του ανοίγματος, όπου επικάθεται το θυρόφραγμα, ανυψώνεται και διαμορφώνεται ένα κατώφλι ύψους περίπου 0.90 m πάνω από τον πυθμένα της διώρυγας. Κατάντη του κατωφλίου του θυροφράγματος κατασκευάζεται λεκάνη καταστροφής της ενέργειας του νερού που περνά από το άνοιγμα του ρουφράκτη. Το συνολικό μήκος του ρουφράκτη φθάνει τα 42 m, ενώ εκείνο της λεκάνης καταστροφής ενεργείας τα 25 m. Πάνω στα βάθρα προβλέπονται δύο γέφυρες, μία ανάντη πλάτους 4.25 m για τους αναγκαίους χειρισμούς κλάσεως 30.0 t και μία κατάντη οδογέφυρα πλάτους 7.50 m, κλάσεως 60.0 t + 30.0 t, τόσο για τους αναγκαίους χειρισμούς όσο και για την περίπτωση χρησιμοποίησής της για γενική οδική επικοινωνία των εκατέρωθεν του ποταμού περιοχών. Με τις δύο γέφυρες σε

<sup>100</sup> ΥΔΡΕΤΜΕ Ε.Ε. 2014, 2

<sup>101</sup> <https://www.ypethe.gr/archive/perissoteres-plirofories-thyrofragma-gyrtonis>

πλαισιωτή σύνδεση με τα βάθρα, εκτός των άλλων εξασφαλίζεται και η απαραίτητη ακαμψία εκάστου δομικού στοιχείου δίδυμων φατνωμάτων. Στα άκρα των βάθρων προβλέπονται εγκοπές για την τοποθέτηση δοκών εμφράξεως, ώστε να απομονώνεται το θυρόφραγμα για την εκτέλεση εργασιών επισκευής ή συντηρήσεως<sup>102</sup>.

**Ταμιευτήρας Γυρτώνης:** Το φράγμα της Γυρτώνης βρίσκεται επί του ποταμού Πηνειού, κατάντη της Λάρισας και ανήκει στην Τοπική Κοινότητα Μακρυχωρίου του Δήμου Τεμπών. Ο ταμιευτήρας δημιουργείται εντός της χαμηλής κοίτης του ποταμού Πηνειού από τη θέση του ρουφράκτη και προς τα ανάντη μέχρι το ύψος της πόλης της Λάρισας. Η μέγιστη χωρητικότητα του ταμιευτήρα υπολογίζεται 5.159.000 m<sup>3</sup> για την Ανώτατη Στάθμη Λειτουργίας των 63,00 μ, ενώ η μέγιστη επιφάνεια καθρέπτη είναι 1.307,5 στρέμματα, όπου ο καθαρός ωφέλιμος όγκος είναι 5 εκατ. μ<sup>3</sup>. Η χωρητικότητα και επιφάνεια του ταμιευτήρα μειώνονται σημαντικά με τη στάθμη του νερού<sup>103</sup>.

Ταμιευτήρας: Γυρτώνη		
ΣΤΑΘΜΗ [m]	ΟΓΚΟΣ [hm <sup>3</sup> ]	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ[km <sup>2</sup> ]
62	3.927	1.1617
61	2.833	1.0023
60	1.888	0.8435
59	1.116	0.6591
58	0.579	0.388

Πίνακας 1: Στάθμη- Όγκος- Επιφάνεια Γυρτώνη

**Ζητήσεις:** Συνοψίζοντας, σκοπό του έργου αποτελεί η ταμίευση στη χαμηλή κοίτη του ποταμού Πηνειού και η παροχέτευση με βαρύτητα νερού για άρδευση σε περιοχές του Νομού Λάρισας ακαθάριστης έκτασης 160.000 στρεμμάτων περίπου (άρδευση Λάρισας)<sup>104</sup>. Με την κατασκευή του έργου είναι δυνατή η πλήρωση με βαρύτητα, με χειμερινές και εαρινές παροχές του ποταμού, τόσο των υφισταμένων λιμνοδεξαμενών στην περιοχή του ΤΟΕΒ Πηνειού όσο και της λίμνης Κάρλας, με συνολικό ετήσιο όγκο περίπου 200 hm<sup>3</sup> και εξοικονόμηση ενέργειας 5 GWh περίπου λόγω κατάργησης των σχετικών αντλήσεων. Μετά τη μερική εκτροπή του ποταμού Αχελώου προς τη Θεσσαλία, κύριος σκοπός του έργου θα είναι η παροχέτευση και

<sup>102</sup> ΥΔΡΕΤΜΕ Ε.Ε. 2014, 4,5

<sup>103</sup> ΥΔΡΕΤΜΕ Ε.Ε. 2014, 4,6

<sup>104</sup>

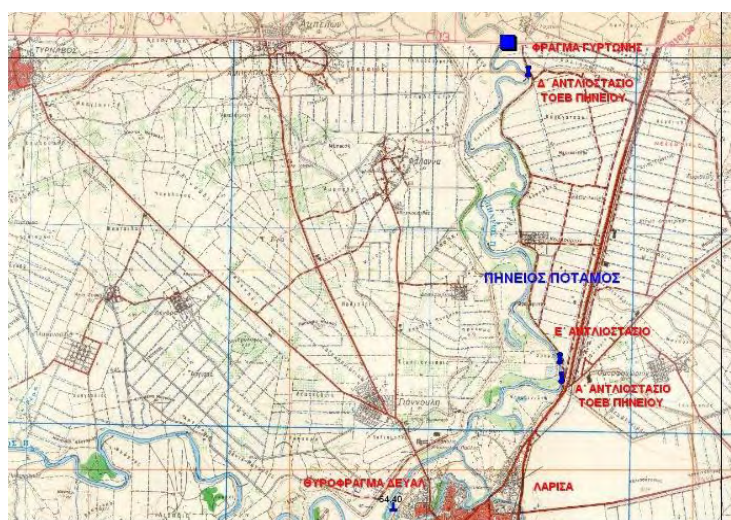
ρύθμιση των απορροών της λεκάνης του ποταμού Πηνειού και των νερών της εκτροπής για άρδευση, προβλεπόμενης έκτασης συνολικά 430.000 στρεμμάτων, και η εξασφάλιση οικολογικής παροχής ίσης με 10,00 m<sup>3</sup>/s προς τα Τέμπη. Τέλος, η υδατόπτωση που δημιουργείται με Μέγιστη Κανονική Στάθμη στο +63.00 καθιστά δυνατή την παραγωγή ενέργειας<sup>105</sup>.

ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
1.72	2.41	4.08	11.14	13.54	17.87	25.46	20.55	9.51	1.31	0.65	1.08

Πίνακας 2: Άρδευση Λάρισα- ΤΟΕΒ Πηνειού (hm<sup>3</sup>)

ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΛΟΡ.ΕΤΟΥΣ
16	16	16	0	0	0	0	0	0	0	16	16	80.00

Πίνακας 3: Αντλιοστάσιο Κάρλας (hm<sup>3</sup>) (80% της συνολικής άντλησης των 100hm<sup>3</sup> ανά έτος)



Χάρτης 3: Χάρτης Ευρύτερης Περιοχής Θυροφράγματος Γυρτώνης<sup>106</sup>

**Προσομοίωση και πολιτική λειτουργίας:** Η προσομοίωση υλοποιήθηκε στην R δημιουργώντας τα επιμέρους στοιχεία του συστήματος: τον ποταμό Πηνειό, τον ταμιευτήρα και τρεις ζητήσεις (άρδευση Λάρισας, οικολογική παροχή και τη ζήτηση του αντλιοστασίου Κάρλας) και εισάγοντας τις χρονοσειρές εισροής, εκροής, εξάτμισης, ζητήσεων και στοιχεία χαρακτηριστικών όγκων, στάθμης, επιφάνειας και συνδέοντας κατάλληλα τα στοιχεία. Στη συνέχεια, ελέγχθησαν η αποθήκευση και η

<sup>105</sup> ΥΔΡΕΤΜΕ Ε.Ε. 2014, 1,2

<sup>106</sup> [https://www.ypethe.gr/sites/default/files/basicpagefiles/2007 - 2014 foto\\_ergoy\\_gyrtonis.pdf](https://www.ypethe.gr/sites/default/files/basicpagefiles/2007 - 2014 foto_ergoy_gyrtonis.pdf)

απόδοση του ταμιευτήρα με αναλύσεις αξιοπιστίας, ελαστικότητας και ευπάθειας του συστήματος.

## 4.2 Ταμιευτήρας Κάρλας

**Αποξήρανση και Ανασύσταση Λίμνης Κάρλας:** Η αποξήρανση της λίμνης Κάρλας το 1962 επέφερε σοβαρά προβλήματα στους Νομούς Λάρισας και Μαγνησίας με σημαντικότερα τα προβλήματα λόγω πλημμύρων, η διατάραξη του οικοσυστήματος, η αποστράγγιση των υπόγειων υδάτων, η εμφάνιση ρηγμάτων μεγάλου βάθους και καταστροφή κτισμάτων, η καταστροφή γεωτρήσεων και ξήρανση πηγών και η αδυναμία υδροδότησης πόλεων και οικισμών. Για την αντιμετώπιση των αρνητικών αυτών συνεπειών αποφασίστηκε η ανασύστασή της, ένα πολλαπλής σκοπιμότητας, από τα μεγαλύτερα αντιπλημμυρικά και εξυγιαντικά έργα της Θεσσαλίας. με το οποίο θα αντιμετωπισθούν σοβαρά προβλήματα των Νομών Λάρισας & Μαγνησίας. Εκτός των παραπάνω προβλημάτων, η ρύπανση του Παγασητικού, η υφαλμύρυνση των υπόγειων υδάτων της ευρύτερης περιοχής, η άρδευση χιλιάδων στρεμμάτων που αρδεύονται πλημμελώς, είναι επιπλέον ζητήματα που καλείται να αντιμετωπίσει το έργο διασφαλίζοντας “αειφορεία” στην διαχείριση των εδαφικών και υδατικών πόρων. Η έναρξη των μελετών έλαβε χώρα το 1978 και ύστερα από την εκπόνηση μεγάλου αριθμού αυτών, το έργο εντάχθηκε το 1998, ως περιβαλλοντικό έργο, στο Επιχειρησιακό Πρόγραμμα «Περιβάλλον – Αειφόρος Ανάπτυξη», Γ ΚΠΣ 2000-2006 (Άξονας 9: Προστασία Φυσικού Περιβάλλοντος και Βιοποικιλότητας), από τη Διεύθυνση Εγγειοβελτιωτικών Έργων (Δ7) του τότε ΥΠΕΧΩΔΕ σε συνεργασία με τις Νομαρχίες Λάρισας και Μαγνησίας και ξεκίνησε να υλοποιείται από το 2000. Η σύμβαση ολοκληρώθηκε στο πλαίσιο του Γ ΚΠΣ (2000-2006) και την 7/1/2009 υπεγράφη νέα σύμβαση υπηρεσιών<sup>107</sup>. Το 25% της σύμβασης ολοκληρώθηκε στο Γ ΚΠΣ, ενώ το 75% εντάχθηκε στο ΕΣΠΑ 2007-2013 στο ίδιο Επιχειρησιακό Πρόγραμμα. Στο έργο συμπεριλαμβάνονται: Ταμιευτήρας 38.500 στρεμμάτων, με χωρητικότητα 184 hm<sup>3</sup>, με αναχώματα 23 χιλιομέτρων, 4 συλλεκτήρες 28 χιλιομέτρων, ορισμένα έργα εισόδου και εξόδου του νερού, αντλιοστάσια, έργα μεταφοράς νερού για άρδευση, έργα ύδρευσης περιοχής Βόλου, έργα υγροβιότοπων, οικοτουριστικής ανάπτυξης, ορεινής υδρονομίας κλπ<sup>108</sup>.

<sup>107</sup> ΥΔΡΟΜΕΝΤΩΡ 2015, 12

<sup>108</sup> ΥΔΡΟΜΕΝΤΩΡ 2015 ΥΔΡΟΜΕΝΤΩΡ 2015, 1,2



Εικόνα 11: Γέμισμα με Νερό Ταμιευτήρα Κάρλας<sup>109</sup>

**Ταμιευτήρας Κάρλας:** Ο ταμιευτήρας της Κάρλας είναι έργο χωρητικότητας 184 hm<sup>3</sup> στο χαμηλότερο τμήμα της παλιάς λίμνης Κάρλας, με την κατασκευή αναχωμάτων (ανατολικού, μήκους 2700 m και του δυτικού, μήκους 13000 m). Προστατευτικά αναχώματα προβλέπονται και στο βόρειο τμήμα της λίμνης για τον έλεγχο των διαφυγών στα καρστικά μάρμαρα (συνολικού μήκους περίπου 6900 m). Η έκτασή του ταμιευτήρα είναι περίπου 38000 στρέμματα, η ωφέλιμη χωρητικότητά του 60 hm<sup>3</sup> και προβλέπεται να γεμίζει με νερό από τον Πηνειό (70-80%) και με νερό χειμερινών απορροών (20-30%) από τις γύρω λεκάνες<sup>110</sup>. Η λεκάνη απορροής της λίμνης έχει έκταση 1050 km<sup>2</sup> (ΥΠΕΚΑ, 2011). Η στέψη των αναχωμάτων προσδιορίστηκε στα +52.50 m και το μέσο ύψος τους είναι 9 m. Οι στάθμες λειτουργίας του ταμιευτήρα έχουν καθορισθεί όπως στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 4 και 5). Η επιφάνεια της λίμνης στην ανώτατη στάθμη πλημμύρας +50.0 m φτάνει τα 38 km<sup>2</sup> και ο αποθηκευμένος όγκος τα 183.88 hm<sup>3</sup>. Στον όγκο αυτό προστίθενται τα 42.74 hm<sup>3</sup> της πλημμυρικής ανάσχεσης, καθώς ο ωφέλιμος όγκος για άρδευση είναι 84.13 hm<sup>3</sup> και ο νεκρός 57.01 hm<sup>3</sup><sup>111</sup>. Η ανώτατη στάθμη άρδευσης είναι στα +48.80 m και η κατώτατη στα +46.40 m (Λουκάς κ.α). Το κατώτατο υψόμετρο του ταμιευτήρα, που ταυτόχρονα είναι το χαμηλότερο υψόμετρο της Θεσσαλικής πεδιάδας, είναι στη στάθμη +43.50 m<sup>112</sup>.

<sup>109</sup> <https://www.ypethe.gr/archive/perissoteres-plirofories-tamieytiras-karlas>

<sup>110</sup> Νικολόπουλος 2015, 105

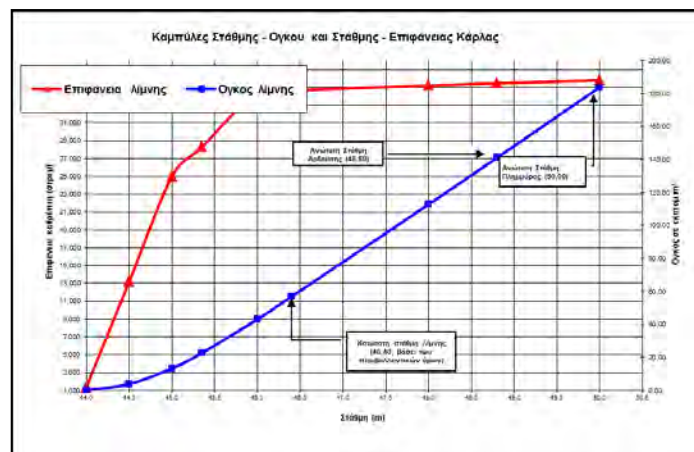
<sup>111</sup> Νικολόπουλος 2015, 105

<sup>112</sup> Νικολόπουλος 2015, 105



Στάθμη	Υψόμετρο (m)	Επιφάνεια (Km <sup>2</sup> )	Όγκος (hm <sup>3</sup> )
Κατώτατη	46,4	34,65	57,01
Ανώτατη άρδευση	48,8	35,45	141,14
Ανώτατη πλημμυρών	50,0	35,80	183,88

Πίνακας 4: Στάθμες λειτουργίας του ταμιευτήρα με τις αντίστοιχες τιμές επιφάνειας και όγκου νερού<sup>113</sup>



Πίνακας 5: Νομογράφημα της επιφάνειας και του όγκου της λίμνης σε σχέση με τη στάθμη της<sup>114</sup>

Ταμιευτήρας: Κάρλα		
ΣΤΑΘΜΗ [m]	ΟΓΚΟΣ [hm3]	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ[km2]
43.5	0	0
44	0.12	4
44.5	15	5
45.4	29.3	25
46	41.8	33
46.4	57.01	34.65
48.8	141.3	35.45
49	148.55	36
50	183.88	38

Πίνακας 6: Πίνακας Στάθμης- Όγκου – Επιφάνειας

**Υφιστάμενα έργα αξιοποίησης επιφανειακών υδατικών πόρων:** Στην υδρολογική λεκάνη της λίμνης Κάρλας υπάρχουν και λειτουργούν, ή είναι υπό κατασκευή και παράδοση, τα μεγάλα έργα ταμίευσης νερού του ταμιευτήρα Κάρλας και έργα ταμίευσης (μικροί ταμιευτήρες και λιμνοδεξαμενές). Στη λεκάνη της Κάρλας υφίστανται δύο δίκτυα άρδευσης, την χρήση των οποίων έχουν ο ΤΟΕΒ Πηνειού και

<sup>113</sup> ΥΔΡΟΜΕΝΤΩΡ 2015, 16

<sup>114</sup> ΥΔΡΟΜΕΝΤΩΡ 2015, 16

ο ΤΟΕΒ Κάρλας. Το βασικό δίκτυο του ΤΟΕΒ Πηνειού εξυπηρετεί μια έκταση 154000 στρεμμάτων, μέσω των ταμιευτήρων άρδευσης, καταλαμβάνοντας το βορειοδυτικό τμήμα της λεκάνης, ενώ οι απώλειες του δικτύου είναι σημαντικές. Η έκταση που εξυπηρετείται από το εν λόγω δίκτυο ποικίλει από χρονιά σε χρονιά και αυτό εξαρτάται από το επιφανειακό υδατικό δυναμικό του Πηνειού, καθιστώντας την άρδευση ελλειμματική σε χρονιές ανομβρίας. Πηγή τροφοδοσίας των ταμιευτήρων αποτελεί ο Πηνειός σε μεγάλο ποσοστό και σε μικρότερο ποσοστό τα υπόγεια ύδατα, με τις επιφανειακές απορροές. Τόσο το επιφανειακό νερό, όσο και το υπόγειο προέρχονται από τη λεκάνη απορροής του Πηνειού και όχι της Κάρλας. Οι τοπικοί ταμιευτήρες είναι 12 με συνολική χωρητικότητα 20 hm<sup>3</sup>, και εντοπίζονται κατά μήκος της πεδιάδας Λάρισας-Κάρλας. Αυτοί, τροφοδοτούνται με ποσότητες νερού από τα αντλιοστάσια Α' και Ε' του Τ.Ο.Ε.Β Πηνειού κατά τους χειμερινούς μήνες και λειτουργούν συνεργατικά με τις αρδευτικές τάφρους του αρδευτικού δικτύου κατά τους καλοκαιρινούς μήνες για την κάλυψη της ζήτησης. Ο ΤΟΕΒ Κάρλας εξυπηρετεί μια μικρή έκταση καλλιεργειών, 10000 στρεμμάτων. Στην πραγματικότητα δεν υπάρχει δίκτυο διανομής του νερού, όπως του ΤΟΕΒ Πηνειού, αλλά ο ΤΟΕΒ Κάρλας έχει στην κυριότητά του έναν αριθμό αρδευτικών γεωτρήσεων με την κάθε μία να εξυπηρετεί μια συγκεκριμένη έκταση καλλιεργειών<sup>115</sup>.

Ονομασία	Αντλιοστάσιο πλήρωσης	Χωρητικότητα (hm <sup>3</sup> )
ΚΑΛΑΜΑΚΙ 1	Αντλιοστάσιο α	5,5
ΝΙΑΜΑΤΑ 1	Αντλιοστάσιο α	1,8
ΠΑΛΤΥΚΑΜΠΟΣ 1	Αντλιοστάσιο α	0,5
ΕΛΕΥΘΕΡΙΟ 1	Αντλιοστάσιο ε	0,9
ΔΗΜΗΤΡΑ	Αντλιοστάσιο ε	1
ΚΑΣΤΡΙ	Αντλιοστάσιο α + ε	1,1
ΓΛΑΥΚΗ	Αντλιοστάσιο α	2,1
ΚΑΛΑΜΑΚΙ 2	Αντλιοστάσιο α	2,5
ΝΙΑΜΑΤΑ 2	Αντλιοστάσιο α	1,1
ΠΑΛΤΥΚΑΜΠΟΣ 2	Αντλιοστάσιο α	1,45
ΕΛΕΥΘΕΡΙΟ 2	Αντλιοστάσιο ε	0,8
ΟΜΟΡΦΟΧΩΡΙ	Αντλιοστάσιο ε	1,25
ΣΥΝΟΛΟ		20

Πίνακας 7: Τοπικοί αρδευτικοί ταμιευτήρες του συστήματος άρδευσης του Τ.Ο.Ε.Β Πηνειού<sup>116</sup>

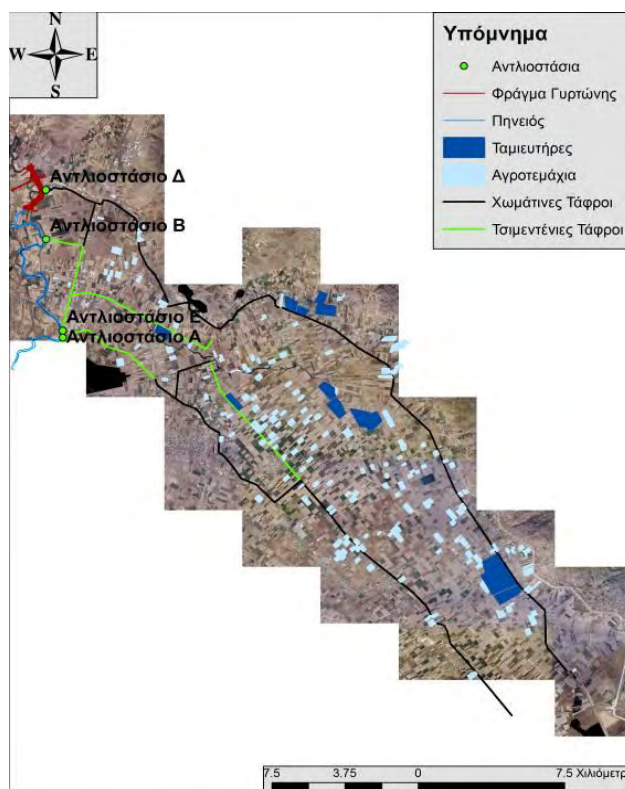
<sup>115</sup> ΥΔΡΟΜΕΝΤΩΡ 2015, 3-9

<sup>116</sup> ΥΔΡΟΜΕΝΤΩΡ 2015, 6





απαιτείται η αποσυναρμολόγηση και η μεταφορά του Η/Μ εξοπλισμού τους. Ο σχεδιασμός τόσο του νέου αντλιοστασίου τροφοδότησης του ταμιευτήρα Κάρλας από τον ποταμό Πηνειό (Α.Τ.Τ.), όσο και των συναφών υδραυλικών έργων γίνεται με παροχή ίση με  $14 \text{ m}^3/\text{sec}$  (όση και η παροχευτικότητα της κατάντη κατασκευασμένης διώρυγας μεταφοράς 2Δ). Ο συνολικός ετήσιος όγκος τροφοδότησης του Ταμιευτήρα Κάρλας από τον ποταμό Πηνειό προβλέπεται κατά την εαρινή και χειμερινή περίοδο  $80 \text{ hm}^3$  κατά μέσον όρο έως  $100 \text{ hm}^3$ . Η δυναμικότητα σχεδιασμού του νέου αντλιοστασίου (Α.Τ.Τ.) και των συναφών έργων του είναι όση και η παροχευτικότητα της κατάντη κατασκευασμένης διώρυγας μεταφοράς 2Δ (δηλ.  $14 \text{ m}^3/\text{sec}$ ), και με λειτουργία των έργων κατά τα 2/3 της περιόδου Νοέμβριος – Μάρτιος (δηλ. 100 ημέρες)<sup>118</sup>.



Σχήμα 6: Υφιστάμενα έργα απολήψεων του Τ.Ο.Ε.Β. Πηνειού<sup>119</sup>

**Λειτουργία του Τ.Ο.Ε.Β. Πηνειού:** Τόσο ο Τ.Ο.Ε.Β Πηνειού, όσο και το αντλιοστάσιο της Κάρλας εφαρμόζει ένα πρόγραμμα άρδευσης το οποίο διαφέρει από τις σχεδιαστικές δυνατότητες του συστήματος. Για τον Τ.Ο.Ε.Β Πηνειού τα

<sup>118</sup> ΥΔΡΟΜΕΝΤΩΡ 2015, 9-21

<sup>119</sup> ΥΔΡΟΜΕΝΤΩΡ 2015, 7

αντλητικά συγκροτήματα των αντλιοστασίων λειτουργούν κατά μέσο όρο με μια παροχή 1250 m<sup>3</sup>/hr ενώ η μέγιστη παροχή σχεδιασμού είναι 1500 m<sup>3</sup>/hr, το αντλιοστάσιο της Κάρλας λειτουργεί με μια συνολική παροχή 2500 m<sup>3</sup>/hr ενώ το καινούριο αντλιοστάσιο θα τροφοδοτεί τον ταμιευτήρα της Κάρλας με περίπου 100 hm<sup>3</sup> το έτος<sup>120</sup>. Τα αντλιοστάσια του Τ.Ο.Ε.Β Πηνειού λειτουργούν σε 18ώρη λειτουργία κατά την αρδευτική περίοδο από 15 Απριλίου ως 15 Σεπτεμβρίου περίπου με μια μέση παροχή των αντλιών τους στα 1.250 m<sup>3</sup>/hr. Επιπλέον όμως κατά τους χειμερινούς μήνες την περίοδο από 15 Δεκεμβρίου έως 15 Μαΐου λειτουργούν για να τροφοδοτήσουν τους ταμιευτήρες του συστήματος σε 15ώρη λειτουργία. Το αντλιοστάσιο της Κάρλας (Α.Τ.Τ.) στην υφιστάμενη κατάσταση, σύμφωνα με της πρώην Ε.Υ.Δ.Ε Κάρλας, τροφοδοτεί τον ταμιευτήρα της Κάρλας για την περίοδο 15 Δεκεμβρίου-15 Απριλίου σε 15ώρη λειτουργία ημερησίως με 2.500 m<sup>3</sup>/hr. Από την άλλη, η δυναμικότητα του συστήματος έχει σχεδιαστεί με μέγιστη παροχή των αντλιών στα 1.500 m<sup>3</sup>/hr. Η τροφοδότηση των συνεργαζόμενων ταμιευτήρων γίνεται με 20 hm<sup>3</sup> τα οποία μοιράζονται κατ' αναλογία τους μήνες που λειτουργούν τα αντλιοστάσια. Το ίδιο συμβαίνει και με το αντλιοστάσιο της Κάρλας το οποίο προβλέπεται να τροφοδοτεί τον ταμιευτήρα με 100 hm<sup>3</sup> την περίοδο από 15 Δεκεμβρίου έως 15 Απριλίου. Με βάση όλα τα παραπάνω το σύστημα απαιτεί 111,09 hm<sup>3</sup> στην πραγματική του λειτουργία ενώ οι απολήψεις αυξάνονται σε 211,2 hm<sup>3</sup> για την κάλυψη της ζήτησης και την πλήρωση και λειτουργία του ταμιευτήρα της Κάρλας. Οι συνολικές απολήψεις από τον Πηνειό ποταμό ανέρχονται στα 211,2 hm<sup>3</sup> από τα οποία 100 hm<sup>3</sup> απαιτούνται για τη λειτουργία του ταμιευτήρα της Κάρλας<sup>121</sup>.

Αντλιοστάσιο	A	B	E	ΚΑΡΛΑΣ	Α ταμιευτήρες	Ε ταμιευτήρες	Σύνολο
Αντλίες	13	3	8		10	3	
Ισχύς m <sup>2</sup> /h	1250	1250	1250		1250	1250	
Παροχή m <sup>3</sup> /h	16250	3750	10000	2500	12500	3750	
Παροχή m <sup>3</sup> /s	4,51	1,04	2,78	0,69	3,47	1,04	
Απρ (hm <sup>3</sup> )	4,39	1,01	2,70	0,56	0,00	0,00	8,66
Μάιος (hm <sup>3</sup> )	8,78	2,03	5,40	0,00	0,00	0,00	16,20
Ιούνιος (hm <sup>3</sup> )	8,78	2,03	5,40	0,00	0,00	0,00	16,20
Ιούλιος (hm <sup>3</sup> )	8,78	2,03	5,40	0,00	0,00	0,00	16,20
Αύγ (hm <sup>3</sup> )	8,78	2,03	5,40	0,00	0,00	0,00	16,20
Σεπ (hm <sup>3</sup> )	4,39	1,01	2,70	0,00	0,00	0,00	8,10
Οκτ (hm <sup>3</sup> )	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Νοέ (hm <sup>3</sup> )	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Δεκ (hm <sup>3</sup> )	0,00	0,00	0,00	0,56	2,81	0,84	4,22
Ιάν (hm <sup>3</sup> )	0,00	0,00	0,00	1,13	5,63	1,69	8,44
Φεβ (hm <sup>3</sup> )	0,00	0,00	0,00	1,13	5,63	1,69	8,44
Μάρ (hm <sup>3</sup> )	0,00	0,00	0,00	1,13	5,63	1,69	8,44
Έτος	43,88	9,11	27,00	4,50	19,69	5,91	111,09

Πίνακας 8: Πρόγραμμα άντλησης του Τ.Ο.Ε.Β Πηνειού<sup>122</sup>

<sup>120</sup> ΥΔΡΟΜΕΝΤΩΡ 2015, 6-11

<sup>121</sup> ΥΔΡΟΜΕΝΤΩΡ 2015, 6-11

<sup>122</sup> ΥΔΡΟΜΕΝΤΩΡ 2015, 11

Αντλιοστάσιο	A	B	E	ΚΑΡΛΑΣ	Σύνολο
Αντλίες	13	3	8		
Ισχύς $m^3/h$	1500	1500	1500		
Παροχή $m^3/h$	19500	4500	12000		
Παροχή $m^3/s$	5,42	1,25	3,33	14	
Απρ ( $hm^3$ )	5,265	1,22	3,24	0,00	9,72
Μάιος ( $hm^3$ )	10,53	2,43	6,48	0,00	19,44
Ιούνιος ( $hm^3$ )	10,53	2,43	6,48	0,00	19,44
Ιούλιος ( $hm^3$ )	10,53	2,43	6,48	0,00	19,44
Αύγ ( $hm^3$ )	10,53	2,43	6,48	0,00	19,44
Σεπ ( $hm^3$ )	5,265	1,22	3,24	0,00	9,72
Οκτ ( $hm^3$ )	0	0,00	0,00	0,00	0,00
Νοέ ( $hm^3$ )	0	0,00	0,00	20,00	20,00
Δεκ ( $hm^3$ )	1,55	0,00	0,45	20,00	22,00
Ιαν ( $hm^3$ )	3,1	0,00	0,90	20,00	24,00
Φεβ ( $hm^3$ )	3,1	0,00	0,90	20,00	24,00
Μάρ ( $hm^3$ )	3,1	0,00	0,90	20,00	24,00
Έτος	63,5	12,15	35,55	100,00	211,20

Πίνακας 9: Δυναμικότητα του συστήματος με βάση τις μέγιστες παροχές και τις προτεινόμενες από μελέτες απολήψεις του Τ.Ο.Ε.Β. Πηνειού<sup>123</sup>

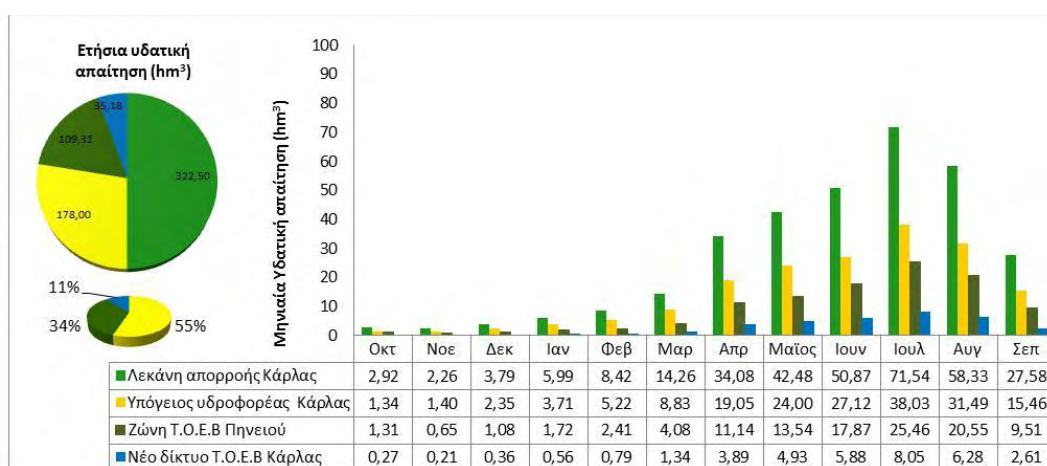
ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΑΘΡ.ΕΤΟΥΣ
20	20	20	0	0	0	0	0	0	0	20	20	100.00

Πίνακας 10: Αντλιοστάσιο Κάρλας ( $hm^3$ )

Στην παρούσα εργασία θεωρούμε 20% απώλειες, άρα προκύπτει ποσότητα ίση με  $80hm^3$  ετήσια.

ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΑΘΡ.ΕΤΟΥΣ
0.56	0.79	1.34	3.89	4.93	5.88	8.05	6.28	2.61	0.27	0.21	0.36	35.17

Πίνακας 11: Άρδευση Κάρλα ( $hm^3$ )



Πίνακας 12: Μηνιαίες και ετήσιες υδατικές απαιτήσεις της λεκάνης απορροής Κάρλας για το Επιχειρησιακό Σενάριο 2: Μελλοντική κατάσταση<sup>124</sup>

<sup>123</sup> ΥΔΡΟΜΕΝΤΩΡ 2015, 11

<sup>124</sup> ΥΔΡΟΜΕΝΤΩΡ 2015, 76

**Προσομοίωση και πολιτική λειτουργίας:** Η προσομοίωση υλοποιήθηκε στην R δημιουργώντας τα επιμέρους στοιχεία του συστήματος: ένα κανάλι το οποίο περιέχει την εισροή στην Κάρλα, τον ταμιευτήρα και την αρδευτική ζήτηση και εισάγοντας τις χρονοσειρές εισροής, εκροής, εξάτμισης, ζήτησεων και στοιχεία χαρακτηριστικών όγκων, στάθμης, επιφάνειας και συνδέοντας κατάλληλα τα στοιχεία. Στη συνέχεια, ελέγχθηκαν η αποθήκευση και η απόδοση του ταμιευτήρα με αναλύσεις αξιοπιστίας, ελαστικότητας και ευπάθειας του συστήματος.

#### **4.3 .Ταμιευτήρας Σμοκόβου**

**Έργο Σμοκόβου:** Πρόκειται για έργο πολλαπλού σκοπού, που βρίσκεται στο νοτιοδυτικό τμήμα του Υδατικού Διαμερίσματος Θεσσαλίας (ΥΔ 08). Η συνολική λεκάνη τροφοδοσίας του ταμιευτήρα έχει έκταση 376.6 km<sup>2</sup>, περιλαμβάνει τμήματα των Νομών Καρδίτσας, Φθιώτιδας και Λάρισας και η περιοχή που προβλέπεται να αρδευτεί μέσω μόνιμων κλειστών δικτύων και προσωρινών έργων έχει έκταση 258.2 km<sup>2</sup> <sup>125</sup>.



Εικόνα 12: Φράγμα Σμοκόβου<sup>126</sup>

Από τον ταμιευτήρα υδρεύονται και ορισμένοι κατάντη οικισμοί της ευρύτερης περιοχής. Το έργο με γενικό τίτλο "Φράγμα Σμοκόβου & συναφή έργα", εντάχθηκε στο Π.Δ.Ε το 1983, άρχισε να εκτελείται το 1984 από το ΥΠΕΧΩΔΕ, με συναρμόδιο φορέα τη ΔΕΗ (Δ/ση Ανάπτυξης Υδροηλεκτρικών Έργων) αποτελείται από τα παρακάτω επιμέρους έργα: το φράγμα Σμοκόβου, και την προσαγωγό σήραγγα μεταφοράς νερού Λεονταρίου (με το σφράγισμα της σήραγγας εκτροπής, που έγινε τον Ιούλιο του 2002, ξεκίνησε η πλήρωση του ταμιευτήρα, η οποία ολοκληρώθηκε

<sup>125</sup> <https://www.ypethe.gr/page/yie-smokovoy>

<sup>126</sup> <https://www.ypethe.gr/archive/perissoteres-pliories-frag-ma-s-mokovoy>

μέσα στο 2003, με την δημιουργία της τεχνητής λίμνης Σμοκόβου), τον Υδροηλεκτρικό σταθμό (ΥΗΣ) στην περιοχή Λεονταρίου, και τα αρδευτικά έργα Σμοκόβου<sup>127</sup>.

**Χαρακτηριστικά ταμιευτήρα Σμοκόβου:** Το φράγμα του Σμοκόβου είναι λιθόρριπτο και βρίσκεται στο Νομό Καρδίτσας, στο σημείο που συμβάλλουν τα ρέματα του Ρεντινιώτικου και Ονόχωνου, όπου σχηματίζεται ο ποταμός Σοφαδίτης. Έχει ύψος 104m, κεκλιμένο αργιλικό πυθμένα και συνολικό όγκο μαζί με το πρόφραγμα 3.6 hm<sup>3</sup> (Νικολόπουλος, 2015). Η στέψη έχει μήκος 456 m και πλάτος 11 m, βρίσκεται στη στάθμη +382 m, ενώ η στάθμη της στέψης του υπερχειλιστή στο +375 m, και η στάθμη υδροληψίας στο +330 m. Οι χαρακτηριστικοί όγκοι του ταμιευτήρα είναι η συνολική χωρητικότητα που ισούται με 237.6 hm<sup>3</sup>, ο ωφέλιμος όγκος ίσος με 209.2 hm<sup>3</sup> και ο νεκρός όγκος ίσος με 27.1 hm<sup>3</sup>. Η λεκάνη απορροής του ποταμού Σοφαδίτη εκτείνεται και στο Νομό Φθιώτιδας, έχει έκταση 376.5 km<sup>2</sup> και περιλαμβάνει και τα 80 km<sup>2</sup> του οροπεδίου Ξυνιάδας<sup>128</sup>. Η Ξυνιάδα είναι μια αποξηραμένη πια λίμνη που αποστραγγίζεται μέσω τάφρου στον Ονόχωνο. Η λεκάνη της Ξυνιάδας δεν συμβάλλει στις εισροές του ταμιευτήρα κατά την αρδευτική περίοδο, καθώς φράσσεται η τάφρος. Το νερό, λαμβάνεται από τον ταμιευτήρα και μέσω της σήραγγας Λεονταρίου, καταλήγει στον υδροηλεκτρικό σταθμό Λεονταρίου. Η σήραγγα αυτή έχει μήκος 4120 m και παροχευτικότητα ως 25 hm<sup>3</sup>. Η ισχύς του υδροηλεκτρικού έργου είναι 10 MW και τρεις στρόβιλοι Francis του σταθμού, έχουν διαφορετική παροχή λειτουργίας, 2-5 m<sup>3</sup>/s ο ένας και 5-10 m<sup>3</sup>/s οι άλλοι, ενώ το ύψος πτώσης είναι μεταξύ 28-88m<sup>129</sup>. Ακόμη η μέγιστη ποσότητα ενέργειας που μπορεί να παραχθεί σε ένα έτος φτάνει τα 28.6 GWh, όμως δεν υπάρχει δυνατότητα παραγωγής πρωτεύουσας ενέργειας καθώς η παραγωγή συνδέεται άμεσα με τις απολήψεις για άρδευση. Ο όγκος του νερού, επομένως, διέρχεται από το σταθμό αυτό και στη συνέχεια, αφού οδηγηθεί στη λεκάνη ηρεμίας, ρέει προς τις ζητήσεις της Ανατολικής Καρδίτσας<sup>130</sup>. Αυτές οι ζητήσεις είναι που θα εισαχθούν στο πρόγραμμα για την προσομοίωση του ταμιευτήρα.

---

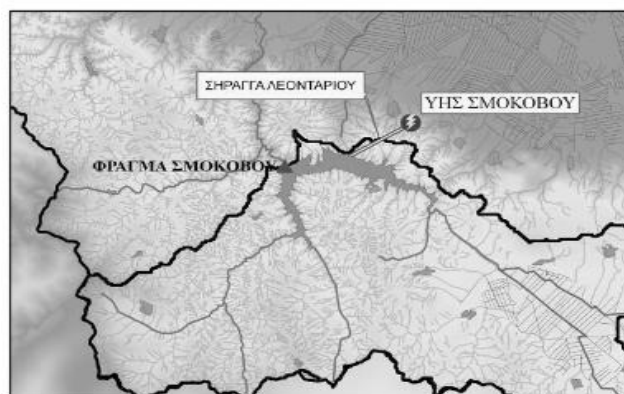
<sup>127</sup> <https://www.ypethe.gr/page/yie-smokovoy>

<sup>128</sup> Νικολόπουλος 2015, 95

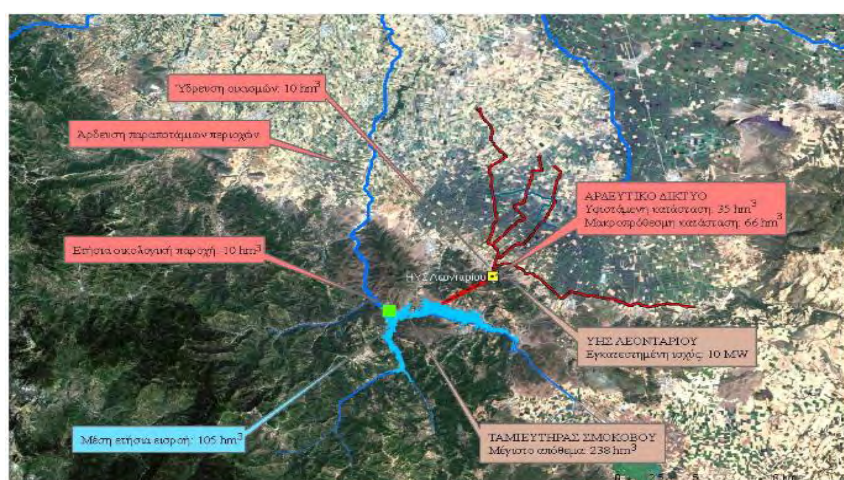
<sup>129</sup> Νικολόπουλος 2015, 95

<sup>130</sup> Νικολόπουλος 2015, 95





Εικόνα 13: Γενική Διάταξη Έργων και Οριζοντιογραφία φράγματος Σμοκόβου<sup>131</sup>



Εικόνα 14: Υδροσύστημα Σμοκόβου<sup>132</sup>

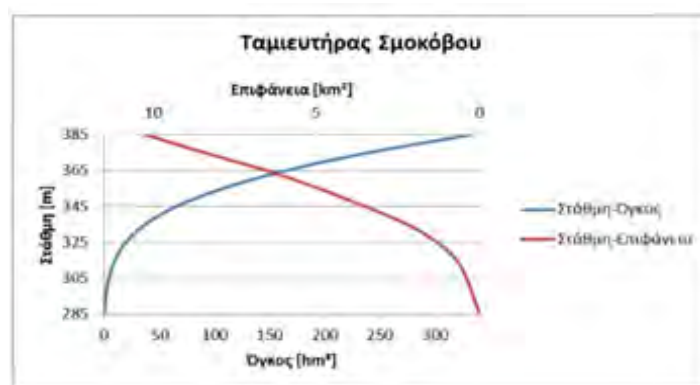
Ταμιευτήρας: Σμόκοβο		
ΣΤΑΘΜΗ [m]	ΟΓΚΟΣ [hm <sup>3</sup> ]	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ[km <sup>2</sup> ]
285	0	0
295	1	0.2
305	4	0.4
315	9.5	0.7
325	19.3	1.3
335	36.6	2.2
345	64.8	3.5
355	106.6	4.9
365	163.4	6.5
375	237.6	8.4
385	330.5	10.2

Πίνακας 13: Στάθμης- Όγκου- Επιφανείας ταμιευτήρα Σμοκόβου

<sup>131</sup>

[https://www.ypethe.gr/sites/default/files/basicpagefiles/2008\\_11\\_synedrio\\_megalon\\_fragmaton\\_tee\\_-\\_oloklirosi\\_fragmatos\\_smokovoy\\_-\\_i.\\_karavokyris\\_klp.pdf](https://www.ypethe.gr/sites/default/files/basicpagefiles/2008_11_synedrio_megalon_fragmaton_tee_-_oloklirosi_fragmatos_smokovoy_-_i._karavokyris_klp.pdf)

<sup>132</sup> [https://www.ypethe.gr/sites/default/files/basicpagefiles/1984\\_-\\_2007\\_foto\\_ergoy\\_smokovoy.pdf](https://www.ypethe.gr/sites/default/files/basicpagefiles/1984_-_2007_foto_ergoy_smokovoy.pdf)



Διάγραμμα 2: Καμπύλες Στάθμης- Όγκου- Επιφανείας ταμιευτήρα<sup>133</sup>

**Ζητήσεις που καλύπτονται από τον ταμιευτήρα Σμοκόβου:** Οι ζητήσεις που καλείται να καλύψει ο ταμιευτήρας είναι οι εξής 3: η άρδευση της περιοχής της Ανατολικής Καρδίτσας (άρδευση Σμοκόβου), η ύδρευση των γύρω οικισμών καθώς και η εξασφάλιση οικολογικής παροχής του ποταμού Σοφαδίτη.

*Άρδευση Σμοκόβου:* Σύμφωνα με τον σχεδιασμό, οι γεωργικές εκτάσεις που αρδεύονται με νερό του ταμιευτήρα σε πλήρη ανάπτυξη, φτάνουν τα 252.600 στρέμματα (224.700 στρέμματα, 224.700 καθαρή γεωργική γη). Προβλέπονται τρεις χαρακτηριστικές φάσεις ανάπτυξης του (Α, Β, Γ), κατά τις οποίες σχεδιάζεται η εξυπηρέτηση όλο και αυξημένης έκτασης. Στην παρούσα εργασία, εξαιτίας των προβλημάτων της χρηματοδότησης και της υπερεκτίμησης κατά των σχεδιασμό των εισροών του ταμιευτήρα (Ευστρατιάδης κ.α., 2008), θα επιλεγθεί η μέση φάση εξυπηρέτησης, η Φάση Β. Σε αυτή, και συνεπώς στα δεδομένα της εργασίας, η συνολική καθαρή έκταση ισούται με 136 000 στρέμματα. Από αυτά, 42 000 στρέμματα θα είναι μόνιμα κλειστά δίκτυα στην «Περιοχή 1», 59 000 στρέμματα μη μόνιμα στην «Περιοχή 1» και 35 000 μη μόνιμα στην «Περιοχή 2»<sup>134</sup>. Η ζήτηση ανά στρέμματα καθαρής γεωργικής γης ανέρχεται σε 450 L/στρέμμα για τα μόνιμα δίκτυα και 700 L/στρέμμα για τα προσωρινά, και με αυτά τα στοιχεία υπολογίζεται η ζήτηση όπως αναγράφεται στον παρακάτω πίνακα<sup>135</sup>.

*Ύδρευση:* Στη σημερινή κατάσταση, στην περιοχή της Καρδίτσας παρατηρείται ένα έντονο διαχειριστικό πρόβλημα όσων αφορά την Ύδρευση. Και αυτό διότι οι

<sup>133</sup> Νικολόπουλος 2015, 96

<sup>134</sup> Νικολόπουλος 2015, 95-101

<sup>135</sup> Νικολόπουλος 2015, 95-101

απώλειες στο δίκτυο διανομής νερού και οι χρήση νερού ύδρευσης για αρδευτικούς οδηγούν σε τεράστιους όγκους κατανάλωσης υδρευτικού νερού που δεν ανταποκρίνεται στο σκοπό της ύδρευσης. Οι ζητήσεις αφορούν 55 κοινότητες των Δήμων Ταμασίου, Μενελαΐδας, Καλλιφώνου, Σοφάδων, Άρνης, Παλαμά και Φύλλου, πληθυσμού 55.000 ατόμων, όπως εκτιμάται για το έτος 2042. Το νερό αυτό λαμβάνεται από γεωτρήσεις ή τοπικές πηγές με εξαίρεση το Δήμο Σοφάδων υδρεύεται και από τον Πλαστήρα, οξύνοντας το πρόβλημα του υποβιβασμού της στάθμης του υπόγειου υδροφορέα. Η ύδρευση εκτιμάται σε 5 hm<sup>3</sup> το χρόνο (250 L/κάτοικο) (Κουκοβίνος κ.α, 2006), η κατανομή της δίνεται στον Πίνακα, και είναι η ζήτηση που στην προσομοίωση καλείται να καλυφθεί από τον ταμιευτήρα Σμοκόβου με σκοπό τον περιορισμό του προβλήματος<sup>136</sup>.

**Οικολογική Παροχή:** Η οικολογική παροχή του ποταμού Σοφαδίτη ετήσια εκτιμάται σε 10 hm<sup>3</sup> και αποσκοπεί στην προστασία του οικοσυστήματος και στον εμπλουτισμό του κώνου του Σοφαδίτη. Εξασφαλίζεται εκροή μέσω του εκκενωτή πυθμένα 0.7 έως 1.1 m<sup>3</sup>/s κατά τους μήνες Απρίλιο έως Σεπτέμβριο<sup>137</sup>.

ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΑΘΡ.ΕΤΟΣ
0	0	0	4.24	9.32	19.99	25.58	22.36	3.22	0	0	0	84.71

Πίνακας 14: Άρδευση Σμοκόβου<sup>138</sup>

ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΑΘΡ.ΕΤΟΣ
0.33	0.33	0.33	0.512	0.512	0.512	0.619	0.512	0.512	0.33	0.33	0.33	5.16

Πίνακας 15: Ύδρευση Σμοκόβου<sup>139</sup>

ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΑΘΡ.ΕΤΟΣ
0	0	0	0.36	1.76	2.43	2.93	1.84	0.71	0	0	0	10.03

Πίνακας 16: Οικολογική Παροχή Σμοκόβου<sup>140</sup>

<sup>136</sup> Νικολόπουλος 2015, 95-101

<sup>137</sup> Νικολόπουλος 2015, 95-101

<sup>138</sup> Νικολόπουλος 2015, 100

<sup>139</sup> Νικολόπουλος 2015, 99

<sup>140</sup> Νικολόπουλος 2015, 100



**Προσομοίωση και πολιτική λειτουργίας:** Η προτεραιότητα των ζητήσεων κατά σειρά είναι: Ύδρευση, Οικολογική Παροχή, Άρδευση. Η προσομοίωση υλοποιήθηκε στην R δημιουργώντας τα επιμέρους στοιχεία του συστήματος: τον ποταμό Σοφαδίτη, τον ταμιευτήρα, τον κόμβο «Κέρδος» και τις τρεις ζητήσεις και εισάγοντας τις χρονοσειρές εισροής, εκροής, εξάτμισης, ζητήσεων και στοιχεία χαρακτηριστικών όγκων, στάθμης, επιφάνειας και συνδέοντας κατάλληλα τα στοιχεία. Στη συνέχεια, ελέγχθηκαν η αποθήκευση και η απόδοση του ταμιευτήρα με αναλύσεις αξιοπιστίας, ελαστικότητας και ευπάθειας του συστήματος.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### Εφαρμογή Μεθοδολογίας

#### 5.1 Δημιουργία περιοχών μελέτης στην R

Ανάλυση συναρτήσεων που χρησιμοποιήθηκαν για τους ταμιευτήρες Γυρτώνης, Κάρλας και Σμοκόβου:

WRSS

- **createArea**

*Περιγραφή:* Αυτή η συνάρτηση κατασκευάζει ένα αντικείμενο της τάξης createArea, υποστηρίζοντας αντικείμενα οποιασδήποτε από τις εξής τάξεις: createAquifer, createDemandSite, createDiversion, createJunction, createReservoir, και createRiver<sup>141</sup>.

*Σύνταξη:*      createArea(name, location, simulation)

*Στοιχεία:*

- ✓ name: συμβολοσειρά (string), το όνομα της περιοχής (προαιρετικό)
- ✓ location: συμβολοσειρά (string), η φυσική τοποθεσία (προαιρετικό)
- ✓ simulation: λίστα (list) τριών διανυσμάτων: της αρχής, του τέλους και του χρονικού βήματος. Τα στοιχεία της αρχής και του τέλους πρέπει

---

<sup>141</sup> Arabzadeh et. al. 2019, 20

να είναι της μορφής «έτος-μήνας-ημέρα». Το στοιχείο του χρονικού βήματος μπορεί να είναι μέρα, εβδομάδα ή μήνας<sup>142</sup>.

- **createJunction**

*Περιγραφή:* Αυτή η συνάρτηση κατασκευάζει ένα αντικείμενο της τάξης createDiversion, το οποίο συμπεριφέρεται ως κόμβος στη λεκάνη ο οποίος συγκεντρώνει το νερό εκροής από τους παραπάνω παραποτάμους και/ ή τα αντικείμενα ανάντη<sup>143</sup>.

*Σύνταξη:*        createJunction(name, downstream)

*Στοιχεία:*

- ✓ name (προαιρετικό): συμβολοσειρά (string), το όνομα του κόμβου
- ✓ downstream: Αντικείμενο οποιασδήποτε από τα παρακάτω στοιχεία: createAquifer, createRiver, createReservoir, createJunction, createDiversion, και createDemandSite στο οποίο εκρέει όγκος νερού<sup>144</sup>.

- **createRiver**

*Περιγραφή:* Αυτή η συνάρτηση κατασκευάζει ένα αντικείμενο της τάξης createRiver το οποίο λειτουργεί ως κανάλι ή πηγή προμήθειας νερού σε κάποιες ζητήσεις<sup>145</sup>.

*Σύνταξη:*        createRiver(name, downstream,  
seepageFraction, seepageObject,  
discharge, priority)

*Στοιχεία:*

- ✓ name (προαιρετικό): συμβολοσειρά (string), το όνομα του ποταμού

---

<sup>142</sup> Arabzadeh et. al. 2019, 20

<sup>143</sup> Arabzadeh et. al. 2019, 28

<sup>144</sup> Arabzadeh et. al. 2019, 28

<sup>145</sup> Arabzadeh et. al. 2019, 36

- ✓ **downstream** (προαιρετικό): Αντικείμενο οποιασδήποτε από τα παρακάτω στοιχεία: `createAquifer`, `createRiver`, `createReservoir`, `createJunction`, `createDiversion`, και `createDemandSite` στο οποίο εκρέει όγκος νερού.
- ✓ **seepageFraction** (προαιρετικό): ο συντελεστής διήθησης, σταθερά διαρροής της απορροής του ποταμού. Η διαρροή υπολογίζεται ως προϊόν του συντελεστή διήθησης και της απορροής του ποταμού και είναι τιμή εντός του διαστήματος  $[0,1]$
- ✓ **seepageObject** (προαιρετικό): Αντικείμενο οποιασδήποτε από τα παρακάτω στοιχεία: `createAquifer`, `createRiver`, `createReservoir`, `createJunction`, `createDiversion`, και `createDemandSite` στο οποίο οδηγείται ο όγκος της διαρροής/διήθησης.
- ✓ **discharge** (προαιρετικό): διάνυσμα της χρονοσειράς απορροής του ποταμού σε εκατομμύρια κυβικά μέτρα (MCM).
- ✓ **priority** (προαιρετικό): ακέραιος, η προτεραιότητα διάθεσης του όγκου νερού, μια τιμή εντός του διαστήματος  $[1,99]$ , που εάν δεν συμπληρωθεί θεωρείται άπειρη<sup>146</sup>.

- **createReservoir**

*Περιγραφή:* Αυτή η συνάρτηση κατασκευάζει ένα αντικείμενο της τάξης `createReservoir`, το οποίο προσομοιώνει την αποθήκευση του ταμιευτήρα με δεδομένες ζητήσεις<sup>147</sup>.

*Σύνταξη:* `createReservoir(type, name, priority, downstream, netEvaporation, seepageFraction, seepageObject, geometry, plant, penstock, initialStorage)`

*Στοιχεία:*

- ✓ **type**: συμβολοσειρά (string): το είδος του ταμιευτήρα, ο βασικός τύπος είναι αποθήκευσης-storage, αλλά μπορεί ακόμα να διαθέτει υδροηλεκτρικό έργο- `hydropower`
- ✓ **name** (προαιρετικό): συμβολοσειρά (string), το όνομα του ταμιευτήρα

<sup>146</sup> Arabzadeh et. al. 2019, 36

<sup>147</sup> Arabzadeh et. al. 2019, 30-31

- ✓ **priority**(προαιρετικό): ακέραιος (integer), η προτεραιότητα της προμήθειας νερού, μια τιμή εντός του διαστήματος [1,99]. Αν δεν συμπληρωθεί θεωρείται άπειρη.
- ✓ **downstream** (προαιρετικό): Αντικείμενο οποιασδήποτε από τα παρακάτω στοιχεία: `createAquifer`, `createRiver`, `createReservoir`, `createJunction`, `createDiversion`, και `createDemandSite` στο οποίο εκρέει όγκος νερού.
- ✓ **netEvaporation**: διάνυσμα καθαρής εξάτμισης στην τοποθεσία του ταμιευτήρα. Εάν δεν συμπληρωθεί θεωρείται μηδενικό.
- ✓ **seepageFraction** (προαιρετικό): ο συντελεστής διήθησης, σταθερά διαρροής από τον ταμιευτήρα. Η διαρροή υπολογίζεται ως προϊόν του συντελεστή διήθησης και της αποθήκευσης του ταμιευτήρα και είναι τιμή εντός του διαστήματος [0,1]
- ✓ **seepageObject** (προαιρετικό): Αντικείμενο οποιασδήποτε από τα παρακάτω στοιχεία: `createAquifer`, `createRiver`, `createReservoir`, `createJunction`, `createDiversion`, και `createDemandSite` στο οποίο οδηγείται ο όγκος της διαρροής/διήθησης.
- ✓ **geometry**: λίστα (list) των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του ταμιευτήρα:
  - **storageAreaTable**: είναι ένας πίνακας του οποίου η πρώτη στήλη περιέχει τον όγκο του ταμιευτήρα σε εκατομμύρια κυβικά μέτρα (MCM) για διάφορες στάθμες του νερού στον ταμιευτήρα, και η δεύτερη στήλη περιλαμβάνει τα αντίστοιχα εμβαδά επιφανείας (σε  $\text{Km}^2$ )
  - **storageElevationTable**: είναι ένας πίνακας του οποίου η πρώτη στήλη περιέχει τον όγκο του ταμιευτήρα σε εκατομμύρια κυβικά μέτρα (MCM) για διάφορες στάθμες του νερού στον ταμιευτήρα, και η δεύτερη στήλη περιλαμβάνει τα αντίστοιχα ύψη (σε m)
  - **dischargeElevationTable**: είναι ένας πίνακας του οποίου η πρώτη στήλη περιέχει τη χωρητικότητα του ρυθμού εκροής του ταμιευτήρα σε κυβικά μέτρα (cms) για διάφορες στάθμες και η δεύτερη στήλη περιλαμβάνει τις στάθμες που αντιστοιχούν

- στην πρώτη στήλη, και απαιτείται εάν ο τύπος του ταμιευτήρα είναι hydropower και το στοιχείο submerged = TRUE
- deadStorage: αναφέρεται στο νεκρό όγκο του ταμιευτήρα, όγκο ο οποίος δεν μπορεί να στραγγιστεί μέσω των έργων εξόδου του φράγματος, σε εκατομμύρια κυβικά μέτρα (MCM)
- capacity: Η μέγιστη χωρητικότητα του ταμιευτήρα
- ✓ plant Μια λίστα προσδιορισμού των προδιαγραφών του σταθμού ηλεκτρικής παραγωγής. Συμπληρώνεται όταν το είδος είναι 'hydropower'
  - ✓ efficiency: είναι ένας πίνακας του οποίου η πρώτη στήλη περιλαμβάνει τους ρυθμούς εκροής (CMS) και η δεύτερη στήλη την αντίστοιχη απόδοση των στροβίλων (τιμές εντός του διαστήματος [0,1])
    - designHead: ένα διάνυσμα μήκους 2 το οποίο περιέχει το ελάχιστο και το μέγιστο, αντίστοιχα, ύψος νερού σε μέτρα του στροβίλου που βρίσκεται σε ενεργή κατάσταση
    - designFlow: διάνυσμα μήκους 2, που περιέχει τον ελάχιστο και το μέγιστο ρυθμό ροής σχεδιασμού σε cms του στροβίλου αντίστοιχα, που βρίσκεται σε ενεργή κατάσταση
    - turbineAxisElevation: Το ύψος του άξονα του εγκατεστημένου στροβίλου σε μέτρα
    - submerged (logical): αν το είδος του στροβίλου είναι submerged (βυθισμένος), TRUE, διαφορετικά, FALSE
    - loss: απώλειες που σχετίζονται με τους στροβίλους σε μέτρα
  - ✓ penstock (προαιρετικό): λίστα (list) προδιαγραφών του αγωγού πτώσης, συμπληρώνεται εάν το είδος ταμιευτήρα είναι hydropower,
    - diameter: η διάμετρος του αγωγού πτώσης σε μέτρα,
    - length: το μήκος του αγωγού πτώσης σε μέτρα,
    - roughness: συντελεστής τραχύτητας σωλήνα που χρησιμοποιείται στη μέθοδο Hazen-Williams
  - ✓ initialStorage: ο αρχικός όγκος του ταμιευτήρα στο πρώτο βήμα της προσομοίωσης (MCM). Αν δεν συμπληρωθεί, η συνάρτηση επαναλαμβάνεται<sup>148</sup>.

<sup>148</sup> Arabzadeh et. al. 2019, 30-31

- **createDemandSite**

*Περιγραφή:* Αυτή η συνάρτηση κατασκευάζει ένα αντικείμενο της τάξης createDemandSite, το οποίο αναπαριστά μια θέση ζήτησης η οποία μπορεί να είναι οικιστική, αρδευτική κλπ., με μια συγκεκριμένη χρονοσειρά ζήτησης<sup>149</sup>.

*Σύνταξη:* createDemandSite (name, demandTS,  
demandParams, returnFlowFraction, suppliers,  
downstream, priority)

*Στοιχεία:*

- ✓ name (προαιρετικό): συμβολοσειρά (string), το όνομα της θέσης ζήτησης
- ✓ demandTS: διάνυσμα χρονοσειράς της ζήτησης σε εκατομμύρια κυβικά μέτρα(MCM). Αν το στοιχείο demandParams είναι κενό, τότε το διάνυσμα demandTS είναι υποχρεωτικό να συμπληρωθεί.
- ✓ demandParams: μια λίστα (list): Εάν το διάνυσμα demandTS δεν είναι γνωστό, τότε, πρέπει να συμπληρωθεί το στοιχείο demandParams ώστε να παραχθεί το demandTS. Το στοιχείο demandParams περιλαμβάνει τα εξής τρία χαρακτηριστικά: :
  - waterUseRate: η συνολική ζήτηση νερού ανά εκτάριο (MCM) ανά δεδομένο κύκλο νερού,
  - waterVariation: ένα διάνυσμα των ποσοστών της κατανομής της ζήτησης νερού μέσα σε ένα κύκλο νερού (τα ποσοστά σε κάθε χρονικό βήμα). Για παράδειγμα, αν ο κύκλος είναι ετήσιος, και το χρονικό βήμα είναι ο μήνας, τότε το στοιχείο waterVariation θα μπορούσε να είναι ένα διάνυσμα μήκους 12, του οποίου οι δείκτες του δηλώνουν το τμήμα της ζήτησης που απαιτείται μηνιαία, σε ποσοστό από την ολική ζήτηση που απαιτείται για ολόκληρο τον κύκλο,
  - cropArea: το εμβαδόν των καλλιεργήσιμων εκτάσεων σε εκτάρια

---

<sup>149</sup> Arabzadeh et. al. 2019, 22

- ✓ **returnFlowFraction**: το κλάσμα του συνολικού όγκου νερού προς τον όγκο νερού που παρέχεται στη θέση ζήτησης. Η ροή επιστροφής υπολογίζεται ως προϊόν του στοιχείου **returnFlowFraction** και του ποσού του νερού που λαμβάνουν οι θέσεις ζήτησης. Το στοιχείο **returnFlowFraction** πρέπει να είναι εντός του διαστήματος [1,99]
- ✓ **suppliers** (προαιρετικό): μια λίστα (list) αντικειμένων από τις παρακάτω τάξεις: **createAquifer**, **createRiver**, **createReservoir**, **createDiversion**
- ✓ **downstream** (προαιρετικό): ένα αντικείμενο οποιασδήποτε από τις τάξεις: **createAquifer**, **createRiver**, **createReservoir**, **createJunction**, **createDiversion**, ή **createDemandSite**, στο οποίο εκρέει ο όγκος νερού
- ✓ **priority** (προαιρετικό): ακέραιος (integer), η προτεραιότητα της προμήθειας νερού, μια τιμή εντός του διαστήματος [1,99]<sup>150</sup>.

- **addObjectToArea**

*Περιγραφή:* Αυτή η συνάρτηση προσθέτει τα αντικείμενα που αποτελούν τα βασικά τμήματα της λεκάνης στο αντικείμενο της τάξης **createArea**<sup>151</sup>.

*Σύνταξη:*            **addObjectToArea**(area, object)

*Στοιχεία:*

- ✓ **area**: αντικείμενο της τάξης **createArea**
- ✓ **Object**: Αντικείμενο οποιασδήποτε από τα παρακάτω στοιχεία: **createAquifer**, **createRiver**, **createReservoir**, **createJunction**, **createDiversion**, και **createDemandSite**<sup>152</sup>.

- **Sim Περιγραφή:** Προσομοιώνει ένα αντικείμενο της τάξης **createArea** χρησιμοποιώντας τυπική πολιτική λειτουργίας- **Standard Operation Policy (SOP)**<sup>153</sup>.

<sup>150</sup> Arabzadeh et. al. 2019, 30-31

<sup>151</sup> Arabzadeh et. al. 2019, 6

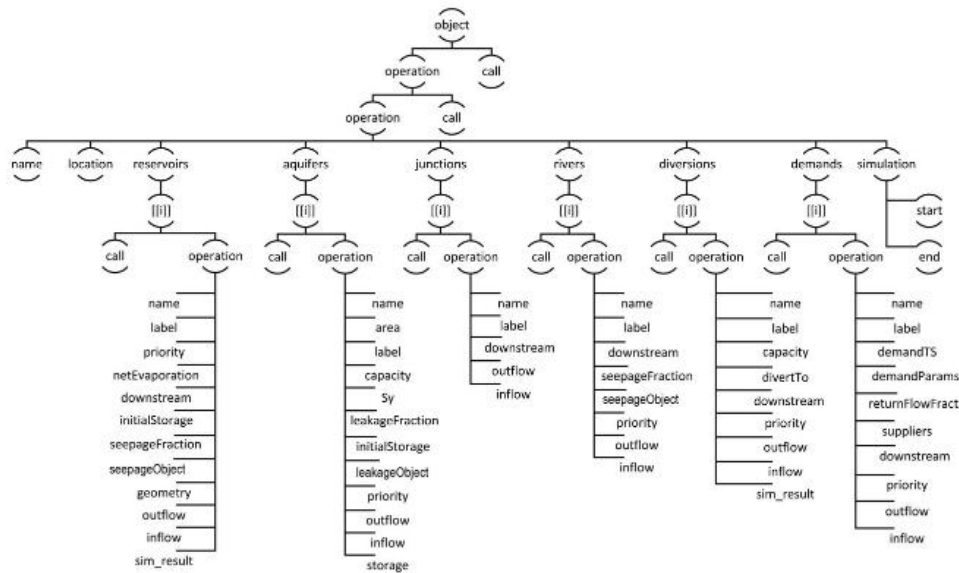
<sup>152</sup> Arabzadeh et. al. 2019, 6

<sup>153</sup> Arabzadeh et. al. 2019, 49

Σύνταξη: `sim(object)`

Στοιχεία:

- ✓ `object`: ένα αντικείμενο της τάξης `createArea`<sup>154</sup>



Σχήμα 7: Λογικό διάγραμμα συνάρτησης `sim`<sup>155</sup>

- **plot.sim**

Περιγραφή: Μέθοδος σχεδιασμού των αντικειμένων της τάξης `sim`<sup>156</sup>.

Σύνταξη: `## S3 method for class 'sim'`

`plot(x,...)`

Στοιχεία:

- ✓ `x`: αντικείμενο της τάξης `sim`
- ✓ `...`: άλλα αντικείμενα που μπορούν να εισαχθούν στη συνάρτηση `plot`<sup>157</sup>.

<sup>154</sup> Arabzadeh et. al. 2019, 49

<sup>155</sup> Arabzadeh et. al. 2019, 50

<sup>156</sup> Arabzadeh et. al. 2019, 41

<sup>157</sup> Arabzadeh et. al. 2019, 41



- **plot.createArea**

*Περιγραφή:* Μέθοδος σχεδιασμού των αντικειμένων της τάξης createArea<sup>158</sup>.

*Σύνταξη:*        ## S3 method for class'createArea'  
                     plot(x,...)

*Στοιχεία:*

- ✓ x: αντικείμενο της τάξης createArea
- ✓ ...: άλλα αντικείμενα που μπορούν να εισαχθούν στη συνάρτηση plot<sup>159</sup>

## RESERVOIR

- **Storage**

*Περιγραφή:* Επιστρέφει την απαιτούμενη αποθήκευση για δεδομένη χρονοσειρά εισροής, απόληψης και αξιοπιστία χρόνου-στόχου. Θεωρείται τυπική πολιτική λειτουργίας (Standard Operating Policy). Η αποθήκευση υπολογίζεται επαναληπτικά μέσω της μεθόδου της διχοτόμησης (bisection method)<sup>160</sup>.

*Σύνταξη:*    storage(Q, yield, reliability,  
                     demand\_profile, plot=TRUE, S\_initial=1,  
                     max\_iterations=50, double\_cycle=FALSE)

*Στοιχεία:*

- ✓ Q: διάνυσμα ή αντικείμενο χρονοσειράς της συνολικής καθαρής εισροής. Συνιστώμενες μονάδες: εκατομμύρια κυβικά μέτρα (MCM)
- ✓ yield: Η απαιτούμενη απόληψη, πρέπει να δίνεται στις ίδιες μονάδες με την εισροή Q.
- ✓ reliability: αριθμός, η απαιτούμενη βάση χρόνου αξιοπιστία

<sup>158</sup> Arabzadeh et. al. 2019, 40

<sup>159</sup> Arabzadeh et. al. 2019, 40

<sup>160</sup> Turner 2016, 21

- ✓ `demand_profile`: διάνυσμα ή αντικείμενο με μήκος ίσο με τη χρονοσειρά της εισροής  $Q$ . Αναπαριστά το προφίλ της ζήτησης μέσα σε ένα έτος. Εάν δεν συμπληρωθεί, θεωρείται συνεχής ροή.
- ✓ `plot`: λογική συνάρτηση (logical), Αν συμπληρωθεί `TRUE`, επιστρέφει διάγραμμα της συμπεριφοράς της αποθήκευσης και η χρονοσειρά εκροής.
- ✓ `S_initial`: αριθμός, ο αρχικός όγκος ως ποσοστό της χωρητικότητας ( $0 \leq S\_initial \leq 1$ ). Η αυτόματη συμπλήρωση είναι 1.
- ✓ `Max_iterations`: ο μέγιστος αριθμός επαναλήψεων για τον υπολογισμό της απόδοσης.
- ✓ `double_cycle`: λογική συνάρτηση, αν συμπληρωθεί `TRUE`, η χρονοσειρά εισροής θα επαναληφθεί και θα εισαχθεί (από τέλος σε τέλος χρονοσειράς) για να διπλασιάσει την προσομοίωση. (Συνιστάται εάν η κρίσιμη περίοδος συμβαίνει στο τέλος της καταγεγραμμένης χρονοσειράς)<sup>161</sup>.

- **yield**

*Περιγραφή:* Επιστρέφει την απόληψη για δεδομένη χρονοσειρά εισροής, χωρητικότητα ταμιευτήρα και αξιοπιστία χρόνου-στόχου. Θεωρείται τυπική πολιτική λειτουργίας (Standard Operating Policy). Η απόληψη υπολογίζεται επαναληπτικά μέσω της μεθόδου της διχοτόμησης (bisection method)<sup>162</sup>.

*Σύνταξη:*     `yield(Q, capacity, reliability,`  
                   `demand_profile, plot=TRUE, S_initial=1,`  
                   `max_iterations=50, double_cycle =FALSE)`

*Στοιχεία:*

- ✓  $Q$ : διάνυσμα ή αντικείμενο χρονοσειράς της συνολικής καθαρής εισροής. Συνιστώμενες μονάδες: εκατομμύρια κυβικά μέτρα (MCM).
- ✓ `capacity`: αριθμός, η χωρητικότητα του ταμιευτήρα, πρέπει να δίνεται στις ίδιες μονάδες με την εισροή  $Q$ .
- ✓ `reliability`: αριθμός, η απαιτούμενη βάση χρόνου αξιοπιστία

<sup>161</sup> Turner 2016, 21

<sup>162</sup> Turner 2016, 22

- ✓ **demand\_profile**: διάνυσμα ή αντικείμενο με μήκος ίσο με τη χρονοσειρά της εισροής Q. Αναπαριστά το προφίλ της ζήτησης μέσα σε ένα έτος. Εάν δεν συμπληρωθεί, θεωρείται συνεχής ροή.
  - ✓ **plot**: λογική συνάρτηση (logical), Αν συμπληρωθεί TRUE, επιστρέφει διάγραμμα της συμπεριφοράς της αποθήκευσης και η χρονοσειρά εκροής.
  - ✓ **S\_initial**: αριθμός, ο αρχικός όγκος ως ποσοστό της χωρητικότητας ( $0 \leq S\_initial \leq 1$ ). Η αυτόματη συμπλήρωση είναι 1.
  - ✓ **Max\_iterations**: ο μέγιστος αριθμός επαναλήψεων για τον υπολογισμό της απόδοσης.
  - ✓ **double\_cycle**: λογική συνάρτηση, αν συμπληρωθεί TRUE, η χρονοσειρά εισροής θα επαναληφθεί και θα εισαχθεί (από τέλος σε τέλος χρονοσειράς) για να διπλασιάσει την προσομοίωση. (Συνιστάται εάν η κρίσιμη περίοδος συμβαίνει στο τέλος της καταγεγραμμένης χρονοσειράς)<sup>163</sup>.
- **resX**: χρονοσειρά X εισροής ταμιευτήρα και λεπτομέρειες ταμιευτήρα (λίστα)<sup>164</sup>
  - **simRes**  
*Περιγραφή*: Προσομοιώνει ένα ταμιευτήρα για δεδομένη χρονοσειρά εισροής και θεωρώντας τυπική πολιτική λειτουργίας (Standard Operation Policy)- συναντώντας ένα στόχο για όλους τους χρόνους, εκτός αν υπάρχει περιορισμός από το διαθέσιμο νερό του ταμιευτήρα συν τις εισερχόμενες ροές- ή χρησιμοποιώντας πολιτική βελτιστοποίησης χρησιμοποιώντας τη συνάρτηση `sdp_supply`. Επιστρέφει τη χωρητικότητα αποθήκευσης χωρίς αστοχία που ανταποκρίνεται στη χρονοσειρά συμπεριφοράς της αποθήκευσης<sup>165</sup>.

*Σύνταξη*:        `simRes(Q, target, capacity,`  
                          `surface_area, max_depth,`

<sup>163</sup> Turner 2016, 23

<sup>164</sup> Turner 2016, 12

<sup>165</sup> Turner 2016, 20

evap, double\_cycle=FALSE, plot=TRUE,  
S\_initia =1, policy)

*Στοιχεία:*

- ✓ Q: διάνυσμα ή αντικείμενο χρονοσειράς της συνολικής καθαρής εισροής. Συνιστώμενες μονάδες: εκατομμύρια κυβικά μέτρα (MCM)
- ✓ target: αριθμητική σταθερά ή διάνυσμα της εκροής-στόχου, πρέπει να είναι του ίδιου μήκους με την εισροή Q (MCM)
- ✓ capacity: αριθμός, η χωρητικότητα του ταμιευτήρα, πρέπει να δίνεται στις ίδιες μονάδες με την εισροή Q
- ✓ surface\_area: αριθμός, η επιφάνεια του ταμιευτήρα σε πλήρη χωρητικότητα. Πρέπει να συμπληρώνεται σε (km<sup>2</sup>) ή (Mm<sup>2</sup>)
- ✓ max\_depth: αριθμός, το μέγιστο βάθος νερού στον ταμιευτήρα για μέγιστη χωρητικότητα σε μέτρα (m). Αν παραληφθεί, οι σχέση βάθους-αποθήκευσης-επιφανείας θα υπολογιστεί μόνο από το εμβαδό επιφανείας και τη χωρητικότητα
- ✓ evap: διάνυσμα ή χρονοσειρά ίδιου μήκους με την εισροή Q, ή αριθμητική σταθερά, η εξάτμιση ως απώλεια από την επιφάνεια του ταμιευτήρα. Αλλάζει αναλογικά με τη στάθμη, εάν έχουν προσδιοριστεί οι παράμετροι του βάθους και του εμβαδού επιφανείας. Οι συνιστώμενες μονάδες είναι m ή kg/m<sup>2</sup> \* 10<sup>-3</sup>.
- ✓ double\_cycle: λογική συνάρτηση, αν συμπληρωθεί TRUE, η χρονοσειρά εισροής θα επαναληφθεί και θα εισαχθεί (από τέλος σε τέλος χρονοσειράς) για να διπλασιάσει την προσομοίωση. (Συνιστάται εάν η κρίσιμη περίοδος συμβαίνει στο τέλος της καταγεγραμμένης χρονοσειράς).
- ✓ plot: λογική συνάρτηση (logical), Αν συμπληρωθεί TRUE, επιστρέφει διάγραμμα της αποθήκευσης και της χρονοσειράς εκροής.
- ✓ S\_initial: αριθμός, ο αρχικός όγκος ως ποσοστό της χωρητικότητας (0 <= S\_initial <= 1). Η αυτόματη συμπλήρωση είναι 1.

- ✓ policy: λίστα (list), τα δεδομένα εξόδου της συνάρτησης `sdp`. Αν παραληφθεί, θεωρείται τυπική πολιτική λειτουργίας- Standard Operating Policy<sup>166</sup>.

- **rrv**

*Περιγραφή:* Υπολογίζει τη βάση χρόνου, ετήσια και ογκομετρική αξιοπιστία, την ελαστικότητα και την αδιάστατη ευαισθησία του συστήματος, με βάση την προμήθεια νερού<sup>167</sup>.

*Σύνταξη:* `rrv(Q, target, capacity, double_cycle=FALSE, surface_area, max_depth, evap, plot=TRUE, S_initial=1, policy)`

*Στοιχεία:*

- ✓ **Q:** διάνυσμα ή αντικείμενο χρονοσειράς της συνολικής καθαρής εισροής. Συνιστώμενες μονάδες: εκατομμύρια κυβικά μέτρα (MCM)
- ✓ **target:** αριθμητική σταθερά ή διάνυσμα της εκροής-στόχου, πρέπει να είναι του ίδιου μήκους με την εισροή **Q** (MCM)
- ✓ **capacity:** αριθμός, η χωρητικότητα του ταμιευτήρα, πρέπει να δίνεται στις ίδιες μονάδες με την εισροή **Q**
- ✓ **double\_cycle:** λογική συνάρτηση, αν συμπληρωθεί **TRUE**, η χρονοσειρά εισροής θα επαναληφθεί και θα εισαχθεί (από τέλος σε τέλος χρονοσειράς) για να διπλασιάσει την προσομοίωση. (Συνιστάται εάν η κρίσιμη περίοδος συμβαίνει στο τέλος της καταγεγραμμένης χρονοσειράς).
- ✓ **surface\_area:** αριθμός, η επιφάνεια του ταμιευτήρα σε πλήρη χωρητικότητα. Πρέπει να συμπληρώνεται σε (km<sup>2</sup>) ή (Mm<sup>2</sup>)
- ✓ **max\_depth:** αριθμός, το μέγιστο βάθος νερού στον ταμιευτήρα για μέγιστη χωρητικότητα σε μέτρα (m). Αν παραληφθεί, οι σχέση βάθους-αποθήκευσης-επιφανείας θα υπολογιστεί μόνο από το εμβαδό επιφανείας και τη χωρητικότητα

---

<sup>166</sup> Turner 2016, 20

<sup>167</sup> Turner 2016, 13

- ✓ Evap: διάνυσμα ή χρονοσειρά ίδιου μήκους με την εισροή Q, ή αριθμητική σταθερά, η εξάτμιση ως απώλεια από την επιφάνεια του ταμιευτήρα. Αλλάζει αναλογικά με τη στάθμη, εάν έχουν προσδιοριστεί οι παράμετροι του βάθους και του εμβαδού επιφανείας. Οι συνιστώμενες μονάδες είναι m ή  $\text{kg/m}^2 * 10^{-3}$ .
- ✓ plot: λογική συνάρτηση (logical), Αν συμπληρωθεί TRUE, επιστρέφει διάγραμμα της αποθήκευσης και της χρονοσειράς εκροής.
- ✓ S\_initial: αριθμός, ο αρχικός όγκος ως ποσοστό της χωρητικότητας ( $0 \leq S_{\text{initial}} \leq 1$ ). Η αυτόματη συμπλήρωση είναι 1.
- ✓ policy: λίστα (list), τα δεδομένα εξόδου της συνάρτησης sdp. Αν παραληφθεί, θεωρείται τυπική πολιτική λειτουργίας- Standard Operating Policy<sup>168</sup>.

- **dirtyreps**

*Περιγραφή:* Παράγει εποχιακή χρονοσειρά χρησιμοποιώντας είτε τη μη παραμετρική μέθοδο kNN Bootstrap είτε την παραμετρική μέθοδο αριθμητικής προσαρμογής or a PARMA(1,1). Για το παραμετρικό μοντέλο, η συνάρτηση μετασχηματίζει αυτόματα την εποχιακή υποσειρά σε κανονική αφαιρώντας την εποχικότητα πριν τοποθετηθεί στο μοντέλο<sup>169</sup>.

*Σύνταξη:* dirtyreps(Q, reps, years, k, d, adjust,  
parameters, method="kNNboot")

*Στοιχεία:*

- ✓ Q: χρονοσειρά με εποχιακή ανάλυση (π.χ. συχνότητα 2, 3, 4, 6 ή 12 για μηνιαία δεδομένα)
- ✓ reps: ακέραιος, ο αριθμός των επαναλήψεων που θα πραγματοποιηθούν. Η προεπιλογή είναι 100.
- ✓ years: ακέραιος, το μήκος της κάθε επανάληψης σε έτη. Η αυτόματη επιλογή είναι αριθμός ίσος με το σύνολο των ετών που δίνονται στο Q.

---

<sup>168</sup> Turner 2016, 13

<sup>169</sup> Turner 2016, 2-3

- ✓ k: Η παράμετρος k της μεθόδου kNN Bootstrap (π.χ ο αριθμός των πιο κοντινών γειτόνων). Αν δεν συμπληρωθεί, θεωρείται  $k = n^{0.5}$ , όπου n είναι ο αριθμός των ετών των δεδομένων εισόδου.
- ✓ d: ακέραιος, η παράμετρος d της μεθόδου kNN Bootstrap (π.χ., ο αριθμός των προηγούμενων χρονικών περιόδων). Αν δεν συμπληρωθεί, θεωρείται  $d = 1$ .
- ✓ adjust: λογική συνάρτηση, αν συμπληρωθεί TRUE (αυτόματη επιλογή), η τελική χρονοσειρά εξόδου X θα περιοριστεί εντός των ορίων  $0 \leq X \leq 1.2 * \max(Q)$ . Συμπληρώνεται μόνο για τη μέθοδο PARMA.
- ✓ parameters: λογική συνάρτηση, αν συμπληρωθεί TRUE, το αποτέλεσμα θα είναι μια λίστα η οποία θα περιλαμβάνει τα δείγματα της επαναλήψεις και σχετικές παραμέτρους της μεθόδου (k και d για την kNNboot και φ, θ και τυπική απόκλιση για την PARMA). Η προεπιλογή είναι FALSE.
- ✓ method: συμβολοσειρά χαρακτήρων (character string) η οποία δίνει τη μέθοδο που χρησιμοποιείται για την παραγωγή δεδομένων. Η προεπιλογή είναι "kNN-boot" - μέθοδος k Nearest Neighbour Bootstrap<sup>170</sup>.

Η ακριβής μορφή των συναρτήσεων όπως αυτές εισήχθησαν στο πρόγραμμα, παρουσιάζονται αναλυτικά στο Παράρτημα.

## 5.2 Μέθοδοι Προσομοίωσης Λειτουργίας Ταμιευτήρα

**Ισοζύγιο ταμιευτήρα:** Οι φυσικές υδρολογικές μεταβλητές που υπεισέρχονται στην προσομοίωση λειτουργίας ταμιευτήρα και επομένως χρειάζεται να αναπαραχθούν συνθετικά κατά τη στοχαστική προσομοίωση της λειτουργίας του, δίνονται στην ακόλουθη εξίσωση υδρολογικού ισοζυγίου ( $t=1$ μήνας)<sup>171</sup>:

$$V_{t+1} = V_t + I_t + P_t + R_t - Y_t - a_t W - q_t - D_t$$

Όπου:

<sup>170</sup> Turner 2016, 2-3

<sup>171</sup> Σιδηρόπουλος, Π. 2018. Ταμιευτήρες και Φράγματα. Σημειώσεις Μαθήματος Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας



$V_t$ : Αποθήκευση του ταμιευτήρα

$I_t$ : Εισροή στον ταμιευτήρα από το ποτάμι

$P_t$ : Βροχόπτωση πάνω στον ταμιευτήρα

$R_t$ : Τοπική πλευρική εισροή από τα πρανή της λεκάνης στην τεχνητή λίμνη

$Y_t$ : Εξάτμιση από τον ταμιευτήρα

$a_t$ : Συντελεστής μηνιαίας κατανομής του  $W$ ,  $\sum_{t=1}^{12} a_t = 1$

$W$ : Ετήσια εγγυημένη παροχή νερού από τον ταμιευτήρα

$q_t$ : Δευτερεύουσες αποφορτίσεις

$D_t$ : Ανεξέλεγκτες απώλειες από το φράγμα προς το ποτάμι κατάντη  
(Μονάδες όγκου)

Οι χρονοσειρές εισροής και ζητήσεων για τους ταμιευτήρες Γυρτώνης και Κάρλας έχουν υπολογιστεί με μοντέλο UTHRL, ενώ για τον ταμιευτήρα Σμοκόβου έχουν ληφθεί προηγούμενη διπλωματική εργασία (Νικολόπουλος 2015).

**Μοντέλο UTHRL:** Το μοντέλο ισοζυγίου λίμνης/ταμιευτήρα έχει αναπτυχθεί στο Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας (UTHRL) και δέχεται ως δεδομένα εισόδου τα εξής: μετεωρολογικές παρατηρήσεις, την εισροή της επιφανειακής απορροής στον ταμιευτήρα, άλλες εισροές νερού στον ταμιευτήρα και απολήψεις από αυτών και υπολογίζει τις υδατικές απώλειες, τον διαθέσιμο όγκο νερού, τη στάθμη και την υπερχειλίση του ταμιευτήρα<sup>172</sup>.

Το μοντέλο UTHRL έχει εφαρμοσθεί στην προσομοίωση της λειτουργίας ενός συστήματος ταμιευτήρων για την εκτροπή του άνω ρου του Αχελώου Ποταμού (Λουκάς και συνεργάτες, 2005a), στην προσομοίωση και διαχείριση του ταμιευτήρα της Κάρλας (Λουκάς και συνεργάτες, 2005b, Σιδηρόπουλος, 2013), και στη διαχείριση των λεκανών απορροής της Θεσσαλίας (Λουκάς και συνεργάτες, 2007, Μυλόπουλος, 2009).

### Εξισώσεις

Εξίσωση λειτουργίας του ταμιευτήρα:

$$V_i = V_{i-1} + Q_i - E_i - A_i - Y_i$$

Όπου:

<sup>172</sup> Σιδηρόπουλος, Π. 2018. Ταμιευτήρες και Φράγματα. Σημειώσεις Μαθήματος Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

$V_i, V_{i-1}$ : Αποθηκευμένος όγκος νερού του ταμιευτήρα τις χρονικές στιγμές  $i, i-1$  αντίστοιχα

$Q_i$ : Εισροή στον ταμιευτήρα το μήνα  $i$

$E_i$ : Καθαρή απώλεια ταμιευτήρα το μήνα  $i$

$A_i$ : Πραγματική απόληψη το μήνα  $i$

$Y_i$ : Υπερχείλιση το μήνα  $i$

(Μονάδες όγκου)

Αν η μέγιστη ωφέλιμη χωρητικότητα του ταμιευτήρα είναι  $S \text{ hm}^3$ , ισχύουν τα ακόλουθα:

- i. Αν  $V_i > S$ , τότε  $V_i = S$ ,  $A_i = B_i$  και  $Y_i = V_{i-1} + Q_i - E_i - A_i - S$ , με  $B_i$  την επιθυμητή απόληψη το μήνα,  $i$ .
- ii. Αν  $0 < V_i < S$ , τότε  $V_i = V_{i-1} + Q_i - E_i - A_i$ ,  $A_i = B_i$  και  $Y_i = 0$ .
- iii. Αν  $V_i = 0$ ,  $A_i = V_{i-1} + Q_i - E_i$  και  $Y_i = 0$ .

#### Διαδικασία

Σημειώνεται ότι η εξάτμιση μετράται με εξατμισόμετρο ή ημιαναλυτικές υπολογιστικές μεθόδους. Οι απώλειες στον ταμιευτήρα οφείλονται στην διήθηση στον υπόγειο υδροφόρο, στη εξάτμιση από την ελεύθερη επιφάνεια και στις απολήψεις για την κάλυψη των ζητήσεων της άρδευσης. Η αναγωγή του ύψους των καθαρών απωλειών σε αντίστοιχο όγκο γίνεται πολλαπλασιάζοντας το ύψος των καθαρών απωλειών με το εμβαδόν της ελεύθερης επιφάνειας του νερού. Τέλος, οι χαρακτηριστικές καμπύλες στάθμης-χωρητικότητας, και στάθμης-ελεύθερης επιφάνειας χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του εμβαδού της ελεύθερης επιφάνειας του νερού. Η πολιτική λειτουργίας του ταμιευτήρα και συνεπώς ο αριθμός των αστοχιών σε μια δεδομένη χρονική περίοδο, καθορίζεται από την τιμή  $B_{di}$ , η οποία εκφράζει το μέγεθος της επιθυμητής απόληψης. Όταν αυτή ισούται με την πραγματική απόληψη,  $B_{ri}$ , υπάρχει διαθέσιμος όγκος νερού για την κάλυψη των ζητήσεων, ενώ όταν  $B_{di} > B_{ri}$ , δεν υπάρχει καθώς δεν ικανοποιείται το κριτήριο της Κατώτατης Στάθμης Άρδευσης<sup>173</sup>.

Για τον ταμιευτήρα της Κάρλας οι χαρακτηριστικές στάθμες λειτουργίας είναι οι στάθμες του παρακάτω πίνακα, από τις οποίες προκύπτει η δυνατή ποσότητα

<sup>173</sup> Σιδηρόπουλος, Π. 2018. Ταμιευτήρες και Φράγματα. Σημειώσεις Μαθήματος Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

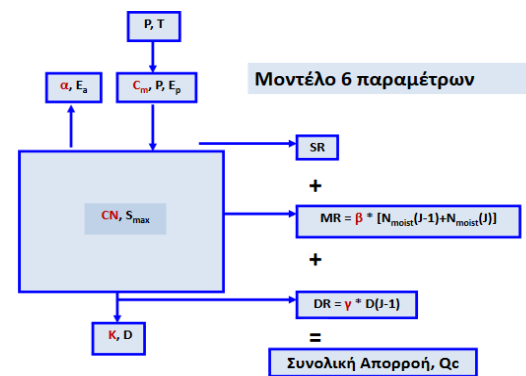
απόληψης 46hm<sup>3</sup> ετησίως. Το έργο της Πέτρας είναι αυτό που σε συνθήκες έντονων βροχοπτώσεων, οδηγεί τα υπερχειλίζοντα νερά μέσω της υφιστάμενης σήραγγας προς τον Παγασητικό κόλπο. Οι μέσες υδρολογικές συνθήκες που επικρατούν και αφορούν σε είσοδο στον ταμιευτήρα είναι η απευθείας βροχόπτωση 15-19 hm<sup>3</sup>, οι επιφανειακές απορροές 20-35 hm<sup>3</sup> (συλλεκτήρες Σ3, Σ4, Σ6 και Σ7, αντλιοστάσια αποχέτευσης DP1 στον κόμβο Πέτρας και DP2 στον κόμβο Καναλιών ένα ποσοστό των υδάτων στο αντλιοστάσιο DP1, θα υπόκεινται σε πρωτοβάθμια επεξεργασία) και εισροές Πηνειού ποταμού 67,5–80 hm<sup>3</sup> (διώρυγα 2Δ, τάφροι 6Τ και 2Τ, προβλεπόμενος συλλεκτήρας Σ4), ενώ ως έξοδο από αυτόν η εξάτμιση 38 hm<sup>3</sup>, οι υπόγειες διαφυγές 15-20hm<sup>3</sup> και οι απολήψεις 46hm<sup>3</sup> ετησίως για την άρδευση 92500 στρεμμάτων. Οι μέσες ετήσιες τιμές των όγκων εισροής και εκροής προήλθαν από τον κατασκευαστή του ταμιευτήρα. Αυτές εκτιμώνται από τα μοντέλα με εξαίρεση την εκροή για άρδευση, η οποία ήταν σταθερή για κάθε έτος. Η περίοδος προσομοίωσης του UTHRL είναι η 2012-2044. Η απορροή στον ταμιευτήρα υπολογίστηκε από το UTHBAL, η απευθείας βροχόπτωση προέκυψε με αναγωγή στο υψόμετρο του ταμιευτήρα (+44m) της βροχόπτωσης της πεδινής λεκάνης, ενώ οι εισροές από τον Πηνειό ρυθμίστηκαν ώστε να είναι οι λιγότερες δυνατές με βάση δύο βασικά κριτήρια λειτουργίας: ο όγκος του ταμιευτήρα να ξεπερνά τα 57.01hm<sup>3</sup> που αντιστοιχούν στο κατώτερο οικολογικό όριο των +46.4m σύμφωνα με τους περιβαλλοντικούς όρους του έργου και να αντλείται από τον Πηνειό η μικρότερη δυνατή ποσότητα νερού σε συνδυασμό με ελάχιστη δυνατή υπερχειλίση. Εξετάζοντας τις εκροές, η εξάτμιση υπολογίστηκε για τον υδάτινο καθρέφτη της λίμνης έκτασης 32000 στρεμμάτων, οι απολήψεις για άρδευση ήταν σταθερές και ίσες με 46hm<sup>3</sup> τον χρόνο, απλά κατανεμήθηκαν στην ξηρή περίοδο και οι υπόγειες διαφυγές, στην αρχή ελήφθησαν ίσες με 20hm<sup>3</sup> τον χρόνο, μετά διορθώθηκαν από τις αντίστοιχες του LAK3, οι οποίες ήταν 8hm<sup>3</sup> τον χρόνο<sup>174</sup>.

Στάθμη	Υψόμετρο (m)	Επιφάνεια	Όγκος (hm <sup>3</sup> )
Κατώτατη	46,4	34,65	57,01
Ανώτατη	48,8	35,45	141,14
Ανώτατη	50,0	35,80	183,88

Πίνακας 17: Στάθμη-Επιφάνεια-Όγκος Ταμιευτήρα Κάρλας

<sup>174</sup> Σιδηρόπουλος, Π. 2018. Ταμιευτήρες και Φράγματα. Σημειώσεις Μαθήματος Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

**WATER BALANCE MODEL-UTHBAL Model:** Οι χρονοσειρές εισροής και ζήτησης για τον ταμιευτήρα Σμοκόβου έχουν ληφθεί προηγούμενη διπλωματική εργασία (Νικολόπουλος (2015)), ενώ για τους ταμιευτήρες Γυρτώνης και Κάρλας έχουν υπολογιστεί με μοντέλο UTHBAL. Πρόκειται για μηνιαίο εννοιολογικό μοντέλο υδατικού ισοζυγίου (Loukas et al., 2007). Το μοντέλο αναπτύχθηκε στο Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας αρχικά σε αδρομερή και εξελίχθηκε ώστε να προσομοιώνει το υδρολογικό ισοζύγιο για ορεινές λεκάνες με την προσθήκη υπορουτίνας χιονιού και ανά υψομετρικές ζώνες ή ομοιογενείς υδρολογικά περιοχές ή σε πλήρη κατανεμημένη μορφή<sup>175</sup>. Το μοντέλο στην αδρομερή του μορφή έχει εφαρμοσθεί με επιτυχία σε λεκάνες απορροής της Κύπρου, της Κρήτης και της Θεσσαλίας καθώς και στη διασυνοριακή λεκάνη απορροής του Νέστου ποταμού<sup>176</sup>. Δέχεται ως δεδομένα εισόδου χρονοσειρές μηνιαίας υετόπτωσης, μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας, και μηνιαίας δυνητικής εξατμισοδιαπνοής και γίνεται διαχωρισμός υετόπτωσης σε βροχόπτωση και χιονόπτωση. Συγκεκριμένα, το ποσοστό των συνολικών μηνιαίων κατακρημνισμάτων που θεωρείται χιονόπτωση εκτιμάται από μια λογιστική (logistic) σχέση που έχει χρησιμοποιηθεί στην λεκάνη απορροής και βασίζεται στη μέση μηνιαία θερμοκρασία του αέρα<sup>177</sup>.



Εικόνα 15: Μοντέλο 6 Παραμέτρων UTHBAL<sup>178</sup>

<sup>175</sup> Σιδηρόπουλος, Π. 2018. Ταμιευτήρες και Φράγματα. Σημειώσεις Μαθήματος Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

<sup>176</sup> Λουκάς, Α. 2017. Σημειώσεις προπτυχιακού μαθήματος "Υδρολογική Προσομοίωση", Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας (<http://eclass.uth.gr/eclass/modules/units/?course=MHXC172&id=3248>)

<sup>177</sup> Λουκάς, Α. 2017. Σημειώσεις προπτυχιακού μαθήματος "Υδρολογική Προσομοίωση", Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας (<http://eclass.uth.gr/eclass/modules/units/?course=MHXC172&id=3248>)

<sup>178</sup> Λουκάς, Α. 2017. Σημειώσεις προπτυχιακού μαθήματος "Υδρολογική Προσομοίωση", Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας (<http://eclass.uth.gr/eclass/modules/units/?course=MHXC172&id=3248>)

Από τη διάκριση αυτή υπολογίζεται η μηνιαία χιονόπτωση. Η δυνητική μηνιαία τήξη του χιονιού υπολογίζεται με απλή γραμμική σχέση (degree-day method) με τη χρήση της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας<sup>179</sup>. Από τους υπολογισμούς αυτούς υπολογίζεται το ισοδύναμο ύψος χιονιού που συσσωρεύεται στο έδαφος καθώς και αυτό που λιώνει και είναι διαθέσιμο προς απορροή. Η παράμετρος της μοναδιαίας τήξης χιονιού,  $C_m(\text{mm}/^{\circ}\text{C}/\text{μήνα})$ , αποτελεί την πρώτη παράμετρο του μοντέλου. Η μηνιαία βροχύπτωση και το μηνιαίο ισοδύναμο ύψος χιονιού που λιώνει αποτελούν την μηνιαία ψευδο-υετόπτωση. Πρώτη προτεραιότητα στο υδατικό ισοζύγιο πριν τη δημιουργία απορροής αποτελεί η ικανοποίηση της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής. Η μηνιαία πραγματική εξατμισοδιαπνοή υπολογίζεται από τη σχέση που πρότειναν οι Vandewiele and Win (1998). Το μοντέλο διακρίνει την συνολική απορροή σε τρεις συνιστώσες απορροής, δηλαδή, την επιφανειακή απορροή, την ενδιάμεση ή επιδερμική απορροή, και τη βασική απορροή ή απορροή που προέρχεται από την εκροή του υδροφορέα. Η διάκριση της απορροής στις τρεις συνιστώσες της έγινε με τη βοήθεια ενός αλγόριθμου υπολογισμού της εδαφικής υγρασίας<sup>180</sup>. Στον αλγόριθμο αυτό χρησιμοποιούνται τέσσερις παράμετροι. Η πρώτη παράμετρος καθορίζει την μέγιστη δυνατή υγρασία που μπορεί να κατακρατήσει το έδαφος και είναι η παράμετρος Curve Number(CN) της μεθόδου SCS (USDA SCS, 1972). Η δεύτερη παράμετρος, K, καθορίζει το ποσό του νερού διήθησης που φορτίζει τον υδροφορέα. Η τρίτη παράμετρος, β, καθορίζει την ενδιάμεση απορροή ενώ η τέταρτη παράμετρος, γ, καθορίζει τη βασική απορροή ή εκφόρτιση του υδροφορέα<sup>181</sup>.

## 5.3 Δημιουργία Συνθετικών Υδρολογικών Χρονοσειρών

### 5.3.1 PARMA

Για την καλύτερη κατανόηση της δεύτερης μεθόδου δημιουργίας συνθετικών χρονοσειρών PARMA, προηγείται η παρουσίαση της μεθόδου ARMA, η οποία αποτελεί απλούστερη μορφή της πρώτης,

<sup>179</sup> Λουκάς, Α. 2017. Σημειώσεις προπτυχιακού μαθήματος "Υδρολογική Προσομοίωση", Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας ( <http://eclass.uth.gr/eclass/modules/units/?course=MHXC172&id=3248> )

<sup>180</sup> Λουκάς, Α. 2017. Σημειώσεις προπτυχιακού μαθήματος "Υδρολογική Προσομοίωση", Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας ( <http://eclass.uth.gr/eclass/modules/units/?course=MHXC172&id=3248> )

<sup>181</sup> Λουκάς, Α. 2017. Σημειώσεις προπτυχιακού μαθήματος "Υδρολογική Προσομοίωση", Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας ( <http://eclass.uth.gr/eclass/modules/units/?course=MHXC172&id=3248> )

**Μέθοδος ARMA:** Η μέθοδος ARMA(q,p) (ομοίωμα Box-Jenkins), αποτελεί μια μέθοδο δημιουργίας συνθετικών χρονοσειρών για στάσιμες σειρές. Είναι ένα μικτό μοντέλο που προέρχεται από το μοντέλο AR, η περιγραφή του οποίου γίνεται παρακάτω.

Η ανάλυση παλινδρόμησης (regression analysis) εξετάζει τη σχέση μεταξύ δύο ή περισσότερων μεταβλητών με σκοπό την πρόβλεψη των τιμών της μιας, μέσω των τιμών της άλλης (ή των άλλων)<sup>182</sup>. Σε αυτή την ανάλυση διακρίνονται δύο είδη μεταβλητών: οι ανεξάρτητες ή ελεγχόμενες ή επεξηγηματικές (independent, predictor, casual, input, explanatory variables) και οι εξαρτημένες ή απόκρισης (dependent, response variables)<sup>183</sup>. Στα γραμμικά μοντέλα παλινδρόμησης η συνάρτηση αυτής της σχέσης είναι γραμμική. Εάν θεωρήσουμε ως εξαρτημένη μεταβλητή την τυχαία τιμή  $x_t$  μια χρονοσειράς τη χρονική στιγμή  $t$ , και ως ανεξάρτητες μεταβλητές τις τιμές σε προηγούμενους χρόνους  $x_{t-1}, \dots, x_{t-p}$ , το μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης είναι ένα αυτοπαλίνδρομο μοντέλο (autoregressive model-AR). Ο αριθμός των προηγούμενων χρόνων που λαμβάνουμε ισούται με την τάξη του μοντέλου.

Αυτοπαλίνδρομο μοντέλο τάξης  $p$ :  $x_t = \phi_0 + \phi_1 x_{t-1} + \dots + \phi_p x_{t-p} + z_t$ , με  $\phi_0, \phi_1, \dots, \phi_p$  συντελεστές και  $\{z_t\} \sim iid$  (ανεξάρτητα και πανομοιότυπα κατανεμημένες τυχαίες μεταβλητές - independent and identically distributed) με μέση τιμή 0 και διασπορά  $\sigma_z^2$ . Οι συντελεστές και η διασπορά λευκού θορύβου εκτιμούνται από τη χρονοσειρά, και οι εκτιμήσεις τους χρησιμοποιούνται για την πρόβλεψη της χρονοσειράς σε επόμενους χρόνους. Σε αυτό το μοντέλο διακρίνουμε ένα τμήμα που εξαρτάται από τις τελευταίες τιμές της χρονοσειράς (γραμμικός συνδυασμός) και ένα μέρος καθαρά στοχαστικό το οποίο οφείλεται σε εξωγενείς επιδράσεις τη χρονική στιγμή  $t$  (μεταβλητή  $z_t$ ), οι οποίες χαρακτηρίζονται ως τμήμα κινούμενου μέσου. Εάν θεωρήσουμε ότι αυτοί οι εξωγενείς παράγοντες επηρεάζουν τη χρονοσειρά σε επόμενους χρόνους, οδηγούμαστε σε ένα νέο μοντέλο, το ολοκληρωμένο αυτοπαλίνδρομο μοντέλο κινούμενου μέσου (autoregressive moving average-ARMA):  $x_t = \phi_0 + \phi_1 x_{t-1} + \dots + \phi_p x_{t-p} + z_t + \theta_1 z_{t-1} + \dots + \theta_q z_{t-q}$ . Η τάξη του αυτοπαλίνδρομου μέρους είναι  $p$  και η τάξη του τμήματος κινούμενου μέσου  $q$ , και ο συμβολισμός του μοντέλου γίνεται ARMA(p,q). Όταν η χρονοσειρά των μεταβολών του δείκτη  $\{X_t\}_{t=1}^n$  προσδιορίζεται από ένα μοντέλο τότε η χρονοσειρά

<sup>182</sup> <https://www.aua.gr/gpapadopoulos/files/regression9.pdf>

<sup>183</sup> <https://www.aua.gr/gpapadopoulos/files/regression9.pdf>

του δείκτη  $\{y_t\}_{t=0}^n$  προσδιορίζεται από το ολοκληρωμένο αυτοπαλίνδρομου μοντέλο κινούμενου μέσου ή ολοκληρωμένο μικτό μοντέλο (autoregressive integrated moving average model, ARIMA).

**Μέθοδος PARMA:** Τα στάσιμα μοντέλα ARMA έχουν εφαρμοστεί ευρέως στην στοχαστική υδρολογία για τη μοντελοποίηση ετήσιων χρονοσειρών όπου η μέση τιμή, η διακύμανση και η συσχέτιση δεν εξαρτώνται από το χρόνο. Για τις εποχιακές υδρολογικές χρονοσειρές, όπως οι μηνιαίες σειρές, τα εποχικά στατιστικά στοιχεία, όπως η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση, μπορούν να αναπαραχθούν από ένα στάσιμο μοντέλο ARMA μέσω της τυποποίησης των υποκείμενων εποχιακών σειρών. Ωστόσο, αυτή η διαδικασία υποθέτει ότι η συσχέτιση παραμένει ίδια από βήμα σε βήμα για ένα δεδομένο χρονικό διάστημα. Οι υδρολογικές χρονολογικές σειρές, όπως οι μηνιαίες χρονοσειρές ροής, χαρακτηρίζονται συνήθως από διαφορετική δομή εξάρτησης (συσχέτιση από μήνα σε μήνα) ανάλογα με την εποχή (π.χ. άνοιξη ή φθινόπωρο). Τα περιοδικά μοντέλα ARMA (PARMA) έχουν προταθεί στη βιβλιογραφία για τη μοντελοποίηση μιας τέτοιας περιοδικής δομής εξάρτησης. Ένα μοντέλο PARMA (p, q) μπορεί να εκφραστεί ως (Salas, 1993):

$$Y_{V,T} = \sum_{i=1}^p \varphi_{i,T} Y_{V,T-i} + \varepsilon_{V,T} - \sum_{j=1}^q \theta_{j,T} * \varepsilon_{V,T-j}$$

(O. G. B. Sveinsson, J. D. Salas, W. L. Lane, and D. K. Frevert, 2007)

Όπου  $Y_{V,T}$  αναπαριστά τη διαδικασία της ροής για έτος V και εποχή T<sup>184</sup>. Για κάθε εποχή T, αυτή η διαδικασία ακολουθεί κανονική κατανομή με μέση τιμή μηδέν και διακύμανση  $\sigma_T^2(Y)$ . Το  $\varepsilon_{V,T}$  είναι ένας μη συσχετιζόμενος όρος «λευκού θορύβου». Τα  $\{\varphi_{1,T}, \dots, \varphi_{p,T}\}$  είναι περιοδικές αυτοπαλίνδρομες παράμετροι και οι  $\{\theta_{1,T}, \dots, \theta_{q,T}\}$  είναι περιοδικές παράμετροι κινούμενου μέσου<sup>185</sup>. Εάν ο αριθμός των εποχών ή των περιόδων είναι ω, τότε το μοντέλο ARMA(p,q) αποτελείται από ω μεμονωμένα μοντέλα ARMA(p,q), όπου η εξάρτηση βρίσκεται μεταξύ των εποχών αντί των ετών<sup>186</sup>.

<sup>184</sup> Sveinsson et. al. 2007, 39-40

<sup>185</sup> Sveinsson et. al. 2007, 39-40

<sup>186</sup> Sveinsson et. al. 2007, 39-40



PARMA (1,1)<sup>187</sup>

$$Y_{V,T} = \sum_{i=1}^p \varphi_{i,T} Y_{V,T-i} + \varepsilon_{V,T} - \sum_{j=1}^q \theta_{j,T} * \varepsilon_{V,T-j}$$

$$\widehat{\varphi}_{1,T} = \frac{m_{2,T}}{m_{1,T-T}}$$

$$\widehat{\theta}_{1,T} = \widehat{\varphi}_{1,T} + \frac{s_T^2 - \widehat{\varphi}_{1,T} m_{1,T}}{\widehat{\varphi}_{1,T} s_{T-1}^2 - m_{1,T}} - \frac{\widehat{\varphi}_{1,T+1} s_T^2 - m_{1,T+1}}{\widehat{\varphi}_{1,T} s_{T-1}^2 - m_{1,T}} \widehat{\theta}_{1,T+1}$$

$$\widehat{\sigma}_T^2(\varepsilon) = \frac{\widehat{\varphi}_{1,T+1} s_{T-1}^2 - m_{1,T+1}}{\widehat{\theta}_{1,T+1}}$$

(O. G. B. Sveinsson, J. D. Salas, W. L. Lane, and D. K. Frevert, 2007)

### 5.3.2 Πλησιέστεροι Γείτονες (KNN)

**Μέθοδοι Κατηγοριοποίησης:** Οι μέθοδοι κατηγοριοποίησης ακολουθούν μια διαδικασία επεξεργασίας ενός συνόλου παρατηρήσεων και στη συνέχεια εκπαίδευσης ενός μοντέλου. Το μοντέλο συνίσταται σε έναν μηχανισμό λήψης απόφασης, για το εάν οι παρατηρήσεις του δείγματος ανήκουν σε μια κλάση. Ως ακρίβεια ενός μοντέλου ορίζεται ως η ικανότητα του να κατατάσσει σωστά τις παρατηρήσεις του συνόλου εκπαίδευσης και πραγματική αξία του συνίσταται στην ικανότητα πρόβλεψης της κλάσης άγνωστων παρατηρήσεων του πραγματικού κόσμου<sup>188</sup>. Ο καθορισμός της ακρίβειας επιτρέπει τη σύγκριση διαφορετικών μοντέλων και την αξιολόγηση τους. Για την εκτίμηση της ικανότητας ενός μοντέλου να προβλέπει άγνωστες παρατηρήσεις έχουν προταθεί διάφορες μέθοδοι, με χαρακτηριστικές τη διάσπαση του δείγματος σε δείγμα εκπαίδευσης και δείγμα επικύρωσης (holdout method), την επικύρωση 10 τμημάτων (10-fold cross validation), η μέθοδος «άφησε ένα έξω» (leave one out) και τη μέθοδος bootstrapping<sup>189</sup>.

**Κατηγοριοποιητές Βασισμένοι σε Παραδείγματα (Instance Based Classifiers (IBC)):** Οι Κατηγοριοποιητές Βασισμένοι σε Παραδείγματα αποτελούν οικογένεια κατηγοριοποιητών στην οποία η μάθηση βασίζεται στην αναλογία. Καλούνται

<sup>187</sup> Sveinsson et. al. 2007, 94-95

<sup>188</sup> Κύρκος 2015, 236

<sup>189</sup> Κύρκος 2015, 236

διαφορετικά και «οκνηροί» κατηγοριοποιητές (lazy classifiers), διότι δεν υπάρχει σε αυτούς εκπαίδευση και δεν παράγουν μοντέλο γενίκευσης μέχρι να χρειαστεί να κατηγοριοποιηθεί μια νέα παρατήρηση. Τότε, η νέα αυτή παρατήρηση συγκρίνεται με το τις παρατηρήσεις του γνωστού συνόλου εκπαίδευσης, μετά από αποθήκευση όλων ή τουλάχιστον ενός μέρους των παρατηρήσεων εκπαίδευσης<sup>190</sup>.

**Πλησιέστεροι Γείτονες (KNN):** Η μέθοδος των k-Πλησιέστερων Γειτόνων (k-Nearest Neighbors - kNN) είναι ένας αλγόριθμος της οικογένειας των Κατηγοριοποιητών Βασισμένων σε Παραδείγματα. Εάν η διαθέσιμη ποσότητα δεδομένων εκπαίδευσης ενός ταξινομητή είναι μεγάλη, τότε συνηθίζεται να χρησιμοποιείται ως μέθοδος ταξινόμησης η μέθοδος των k-πλησιέστερων γειτόνων. Οι KNN ταξινομητές κατηγοριοποιούν ένα άγνωστο δείγμα βασιζόμενοι στο ποια είναι η κυρίαρχη κατηγορία των k κοντινότερων γειτόνων του, θεωρώντας ως κοντινότερους γείτονες τα δείγματα που έχουν από αυτό την μικρότερη απόσταση. Η μέθοδος k-NN εκτός από κατηγοριοποίηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για παλινδρόμηση, δηλαδή για πρόβλεψη αριθμητικών τιμών. Για την πρόβλεψη της τιμής της εξαρτημένης μεταβλητής μιας νέας παρατήρησης, ο αλγόριθμος εντοπίζει τις k πλησιέστερες παρατηρήσεις και επιστρέφει ως πρόβλεψη τη μέση τιμή των εξαρτημένων μεταβλητών των επιλεγμένων παρατηρήσεων<sup>191</sup>.

Ένας αλγόριθμος k πλησιέστερων γειτόνων αναλύεται στα παρακάτω τρία βήματα:

1. Υπολογισμός της απόστασης του προς ταξινόμηση αντικειμένου x με κάθε ένα από τα δείγματα εκπαίδευσης  $x_i$  χρησιμοποιώντας την Ευκλείδεια απόσταση.
2. Εντοπισμός των k αντικειμένων εκπαίδευσης με την μικρότερη απόσταση από το προς ταξινόμηση αντικείμενο και έλεγχος ποια κατηγορία ταξινόμησης κυριαρχεί σε αυτά. Το k είναι ένας φυσικός αριθμός ο οποίος αποτελεί παράμετρο του αλγορίθμου. Συνήθως είναι ένας περιττός φυσικό αριθμός για να μπορεί να υπάρξει πλειοψηφία.
3. Επανάληψη των βημάτων 1-2 για κάθε αντικείμενο.

Αναλυτικότερα, ο αλγόριθμος k πλησιέστερων γειτόνων είναι ένας σειριακός αλγόριθμος, όπου τα στοιχεία συγχωνεύονται επαναληπτικά στις πλησιέστερες

---

<sup>190</sup> Κύρκος 2015, 236-238

<sup>191</sup> Κύρκος 2015, 236-238

μεταξύ των κλάσεων που υπάρχουν, σε κάθε επανάληψη. Τα δεδομένα λαμβάνονται σε δυο ομάδες, μια συνόλου εκπαίδευσης και μια συνόλου ελέγχου. Ο k-NN εκπαιδεύεται, αποθηκεύοντας τα διανύσματα που αντιστοιχούν στα παραδείγματα εκπαίδευσης, και μαζί και τις εξόδους των στοιχείων αυτών. Αποθηκεύει δηλαδή τα σημεία ενός πολυδιάστατου χώρου, στον οποίο μπορούν να αναπαρασταθούν τα στοιχεία αυτά. Κατά την ταξινόμηση, δηλαδή κατά τη χρήση του εκπαιδευμένου k-NN, το σύστημα λαμβάνει τις νέες εισόδους, για τις οποίες δεν γνωρίζει την έξοδο και υπολογίζει για κάθε μία τη διανυσματική της αναπαράσταση (το αντίστοιχο σημείο στον πολυδιάστατο χώρο). Ύστερα, ακολουθεί ο υπολογισμός της απόστασης του στοιχείου εισόδου από κάθε σημείο που αντιστοιχεί σε ένα αποθηκευμένο παράδειγμα εκπαίδευσης χρησιμοποιώντας την Ευκλείδεια απόσταση (1<sup>ο</sup> βήμα). Σε περίπτωση μη ετερόκλητων χαρακτηριστικών σημειώνεται ότι απαιτείται κανονικοποίηση των τιμών τους σε κοινή ακτίνα τιμών. Στη συνέχεια βρίσκονται τα k στοιχεία εκπαίδευσης με τη μικρότερη απόσταση από το σημείο της εισόδου και έτσι η είσοδος κατατάσσεται στην κατηγορία που είναι πιο συχνή μεταξύ των k κοντινότερων παραδειγμάτων εκπαίδευσης (2<sup>ο</sup> βήμα). Ο αλγόριθμος απαιτεί περισσότερους υπολογισμούς κατά την κατάταξη νέων στοιχείων, όσο αυξάνει το πλήθος των παραδειγμάτων εκπαίδευσης. Ο αλγόριθμος έχει επίσης, μεγάλες απαιτήσεις μνήμης, αφού πρέπει να αποθηκεύονται όλα τα παραδείγματα εκπαίδευσης, είναι όμως απλός και ταχύτατος κατά την εκπαίδευση. Αφού γίνει η κατάταξη ο αλγόριθμος ελέγχει την απόδοση του με τρεις τρόπους. Αρχικά, με τα δεδομένα ελέγχου, που λαμβάνει σαν παράμετρο μαζί με τα δεδομένα εκπαίδευσης. Έπειτα δίνει σαν έξοδο την μήτρα αληθείας (confusion matrix), η οποία μας δίνει το πλήθος των αληθών θετικών και αρνητικών σε σχέση με το σύνολο των δεδομένων, όπως και το σύνολο των ψευδών θετικών και αρνητικών. Και τέλος μπορούμε να ελέγξουμε την απόδοση του αλγορίθμου μέσω της καμπύλης OC (operating characteristic). Τέλος, γίνεται επανάληψη των βημάτων 1-2 για κάθε αντικείμενο (3<sup>ο</sup> βήμα).

Στα πλεονεκτήματα της μεθόδου συμπεριλαμβάνεται η απλότητα του αλγόριθμου, οι υψηλές επιδόσεις κατηγοριοποίησης και η αποτελεσματικότητά τους σε σύνθετες εξαρτήσεις μεταβλητών. Αντίθετα σημαντικά μειονεκτήματα αποτελούν η ευαισθησία τους στα τοπικά χαρακτηριστικά των δεδομένων και στην ύπαρξη μη σημαντικών μεταβλητών εισόδου, η εξάρτηση από το πλήθος k, η μεγάλη διάρκεια

της κατηγοριοποίησης ειδικά στην περίπτωση μεγάλου πλήθους  $k$ , καθώς και το γεγονός ότι απαιτούνται πολύ αποτελεσματικές τεχνικές καταλογοποίησης (indexing)<sup>192</sup>.

**Μέθοδος bootstrap:** Και σε αυτή τη μέθοδο δημιουργούνται σύνολα επικύρωσης με δειγματοληψία αυτή τη φορά με επανατοποθέτηση. Πιο συγκεκριμένα, η παρατήρηση που επιλέγεται να συμμετάσχει κάθε φορά στο δείγμα δεν αφαιρείται από το αρχικό και έτσι τον μια παρατήρηση μπορεί να επιλεγεί περισσότερες από μία φορές για να συμμετάσχει στο ίδιο σύνολο επικύρωσης<sup>193</sup>.

## 5.4 Στατιστικά Στοιχεία: Αξιοπιστία, Ελαστικότητα και Ευπάθεια Συστήματος

Η στατιστική αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι της ανάλυσης δεδομένων. Η αξιολόγηση του συστήματος των τριών ταμιευτήρων Γυρτώνης, Κάρλας και Σμοκόβου, έγινε μέσω των στατιστικών υπολογισμών της αξιοπιστίας, ελαστικότητας και ευπάθειας, έννοιες οι οποίες αναλύονται παρακάτω.

### 5.4.1 Αξιοπιστία (Reliability)

Η μέτρηση της αξιοπιστίας δηλώνει το ποσοστό του βαθμού αβεβαιότητας σε μια στατιστική ανάλυση. Αναφέρεται στο βαθμό στον οποίο μια σειρά δεδομένων μπορεί να παράγει επιπλέον δεδομένα με συνέπεια, εάν τα τελευταία λαμβάνονται από ένα συγκεκριμένο αριθμό επαναλήψεων. Η αξιοπιστία προσδιορίζεται εάν διατηρήσουμε το ποσό της μεταβολής των δεδομένων ενός συστήματος και ορίσουμε τη συσχέτιση μεταξύ των τιμών που λαμβάνονται για διαφορετική διαχείριση των δεδομένων κάθε φορά. Εάν αυτή η συσχέτιση είναι υψηλή, τότε το σύνολο των δεδομένων δίνει συνεχή αποτελέσματα και το σύστημα είναι αξιόπιστο. Η αξιοπιστία σχετίζεται με το ποσό του τυχαίου σφάλματος που προκύπτει από την επαναληπτική διαδικασία. Αποτελέσματα υψηλής αξιοπιστίας, σημαίνει ακριβή, αναπαραγώγιμα και συνεπή δεδομένα από μια διαδικασία σε μια επόμενη. Οι διάφοροι συντελεστές αξιοπιστίας κυμαίνονται μεταξύ 0 (πολύ χαμηλή αξιοπιστία) έως 1 (υψηλή αξιοπιστία, χωρίς σφάλμα). Σημειώνεται, ότι η αξιοπιστία διαφέρει από την εγκυρότητα, η οποία είναι ο

---

<sup>192</sup> Κύρκος 2015, 236-238

<sup>193</sup> Κύρκος 2015, 247

βαθμός στον οποίο μια διαδικασία πραγματοποιεί τις επαναλήψεις τις οποίες έχει σχεδιαστεί να υλοποιήσει<sup>194</sup>.

Αναφέρονται οι τέσσερις τύποι αξιοπιστίας: Inter-rated reliability, test-retest reliability, inter-method reliability και internal consistency reliability. Η πρώτη, η αξιοπιστία εσωτερικής κλάσης, αξιολογεί το βαθμό συμφωνίας μεταξύ δυο ή περισσότερων δεικτών στις εκτιμήσεις τους. Η δεύτερη της δοκιμής-επανεξέτασης, αξιολογεί το βαθμό στον οποίο τα αποτελέσματα είναι συνεπή από τη μια διαδικασία εξέτασης στην επόμενη. Η τρίτη η οποία ονομάζεται αξιοπιστία μεταξύ μεθόδων, αξιολογεί το βαθμό στον οποίο τα δεδομένα είναι συνεπή όταν υπάρχει ποικιλία στις μεθόδους που χρησιμοποιούνται και τέλος ο τέταρτος τύπος της αξιοπιστίας εσωτερικής συνεκτικότητας αξιολογεί τη συνοχή των αποτελεσμάτων μεταξύ των δεδομένων σε μια διαδικασία εξέτασης<sup>195</sup>.

Ακόμη, αναφέρονται οι τέσσερις μέθοδοι υπολογισμού: test-retest reliability method, parallel forms method, split-half method και internal consistency method. Μέσω αυτών υπολογίζεται η συσχέτιση η οποία χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της αξιοπιστίας. Η πρώτη μέθοδος, εξέτασης-επανεξέτασης, αξιολογεί άμεσα το βαθμό στον οποίο τα δεδομένα είναι συνεπή από μια διαδικασία εξέτασης σε μια επόμενη, ενώ η δεύτερη μέθοδος των παράλληλων μορφών περιλαμβάνει τη συσχέτιση των αποτελεσμάτων μιας μορφής διαχείρισης δεδομένων και των αποτελεσμάτων μιας εναλλακτικής μορφής εξέτασης των δεδομένων, ισοδύναμων ως προς το περιεχόμενο, τις διαδικασίες απόκρισης και τα στατιστικά χαρακτηριστικά με τα αρχικά ώστε οι διαφορές να αφορούν μόνο στο σφάλμα της μέτρησης. Η τρίτη μέθοδος, διαίρεσης στο μέσο, αντιμετωπίζει τα δυο μισά του συνόλου των δεδομένων ως δυο εναλλακτικές μορφές μετρήσεων και ανάγεται στη δεύτερη κατηγορία αφού συσχετίζει τα δυο μισά. Η τέταρτη μέθοδος εσωτερικής συνοχής αξιολογεί τη συνοχή των αποτελεσμάτων μεταξύ των δεδομένων σε μια εξέταση, με πιο συγκεκριμένο μέτρο εσωτερικής συνοχής το alpha του Cronbach<sup>196</sup>.

Η αξιοπιστία οποιασδήποτε χρονοσειράς μπορεί να οριστεί ως ο αριθμός των δεδομένων σε ένα ικανοποιητικό αριθμό διαιρούμενο με το συνολικό αριθμό των

---

<sup>194</sup> Loucks 2017, 409

<sup>195</sup> Loucks 2017, 409

<sup>196</sup> Loucks 2017, 409

δεδομένων της χρονοσειράς. Υποθέτοντας ότι οι ικανοποιητικές τιμές στη χρονοσειρά  $X_t$  που περιέχουν  $n$  τιμές είναι εκείνες που είναι ίσες ή μεγαλύτερες από κάποιο όριο  $X_T$ , τότε ισχύει:

$$\text{Reliability } [X] = [\text{αριθμός περιόδων } t, \text{ τέτοιος ώστε } X_t \geq X^T] / n \quad (\text{Loucks, 2017})$$

Ένα πιο αξιόπιστο σύστημα δεν είναι απαραίτητα καλύτερο από ένα λιγότερο αξιόπιστο σύστημα. Το μέτρο της αξιοπιστίας δεν είναι ενδεικτικό του πόσο γρήγορα ένα σύστημα ανακτά και επιστρέφει σε ικανοποιητική τιμή, ούτε δείχνει πόσο κακή μπορεί να είναι μια μη ικανοποιητική τιμή εάν συμβεί. Ένα σύστημα που αστοχεί σχετικά συχνά, αλλά σε ελάχιστο ποσό και για σύντομες διάρκειες, θα προτιμάται από εκείνο του οποίου η αξιοπιστία είναι πολύ υψηλότερη, αλλά όταν συμβαίνει μια αστοχία, είναι πιθανό να είναι πολύ πιο σοβαρή. Τα μέτρα ελαστικότητας και ευπάθειας μπορούν να παράσχουν μέτρα αυτών των χαρακτηριστικών του συστήματος<sup>197</sup>.

#### 5.4.2 Ελαστικότητα (Resilience)

Η ελαστικότητα χαρακτηρίζει την ικανότητα ανάκτησης συστημάτων από την κατάσταση αστοχίας έως την ασφαλή κατάσταση. Μπορεί να οριστεί ως το μέγιστο εύρος μιας διαταραχής που μπορεί να υπολογιστεί σε ένα σύστημα πριν μετακινηθεί από μια σταθερή κατάσταση σε μια διαφορετική κατάσταση (μηχανιστική προσέγγιση). Ακόμη, μπορεί να οριστεί ως ο ρυθμός επιστροφής σε μια κατάσταση ισορροπίας, ή και ως η ικανότητα του συστήματος να διατηρεί υπό ακραίες συνθήκες τη δομή, τη λειτουργία του καθώς και τις δυνατότητες αναδραστικών αποκρίσεων (Hains-Young, Potschon & Berry, 2010), ενώ είναι ανάλογη του χρόνου επιστροφής σε προκαθορισμένο επίπεδο. Η ελαστικότητα αναγνωρίζεται ως ένας σημαντικός πιθανολογικός δείκτης για την αξιολόγηση των σχέσεων risk-cost trade-offs στα συστήματα υδατικών πόρων. Υπολογίζεται με μεθόδους δειγματοληψίας, οι οποίες έχουν υψηλό υπολογιστικό κόστος. Δεν έχει αναπτυχθεί καμιά ενιαία προσέγγιση για την εκτίμηση της ελαστικότητας, ακόμη και σε σταθερές συνθήκες<sup>198</sup>.

Η ελαστικότητα μπορεί να εκφραστεί ως η πιθανότητα ότι σε μια μη ικανοποιητική κατάσταση, η επόμενη κατάσταση θα είναι ικανοποιητική. Είναι η πιθανότητα να υπάρξει μια ικανοποιητική τιμή στην χρονική περίοδο  $t + 1$ , έχοντας ως δεδομένο μια

<sup>197</sup> Loucks 2017, 409

<sup>198</sup> Loucks 2017, 409

μη ικανοποιητική τιμή σε οποιαδήποτε χρονική περίοδο  $t$ . Μπορεί να υπολογιστεί ως εξής:

Resilience  $[X] = [\text{αριθμός των φορών που μια ικανοποιητική τιμή ακολουθεί μια μη ικανοποιητική τιμή}] / [\text{αριθμός των φορών που συμβαίνει μια μη ικανοποιητική τιμή}]$   
(Loucks, 2017)

Η ελαστικότητα δεν ορίζεται εάν δεν υπάρχουν μη ικανοποιητικές τιμές στη χρονοσειρά.

### 5.4.3 Ευπάθεια

Η ευπάθεια είναι ένα μέτρο του εύρους των διαφορών μεταξύ της κατώτατης τιμής και των τιμών των μη ικανοποιητικών χρονοσειρών. Αποτελεί ένα πιθανοτικό μέτρο και για τη μέτρησή της χρησιμοποιούνται είτε αναμενόμενες τιμές, είτε τις μέγιστες παρατηρούμενες τιμές, είτε εκχωρείται η πιθανότητα υπέρβασης<sup>199</sup>. Υποθέτοντας ότι για τη μέτρηση χρησιμοποιείται αναμενόμενη τιμή:

Vulnerability  $[X] = [\text{άθροισμα θετικών τιμών του } (X^T - X_t)] / [\text{αριθμός των φορών που συμβαίνει μια μη ικανοποιητική τιμή}]$   
(Loucks, 2017)

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

### Αποτελέσματα

Στην παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε η προσομοίωση των ταμιευτήρων Γυρτώνης, Κάρλας και Σμοκόβου για ιστορικά και συνθετικά δεδομένα εισροής με στόχο την εκτίμηση της σχέσης εισροής-απόληψης σε βάθος χρόνου. Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων που λαμβάνει χώρα στο παρόν κεφάλαιο, περιλαμβάνει διαγράμματα και πίνακες εισροής και ζητήσεων για την περιοχή κάθε ταμιευτήρα και κάθε πακέτο που χρησιμοποιήθηκε (WRSS και RESERVOIR) ώστε να μπορεί να πραγματοποιηθεί σύγκριση μεταξύ των αποτελεσμάτων των πακέτων και τα στοιχεία αξιοπιστίας, ελαστικότητας και ευπάθειας. Τέλος, σημειώνεται ότι για την καλύτερη κατανόηση των δεδομένων εισροής του δεύτερου πακέτου επιλέχθηκε το θηκόγραμμα ως κατάλληλο διάγραμμα παρουσίασης των συγκεκριμένων δεδομένων.

---

<sup>199</sup> Loucks 2017, 409



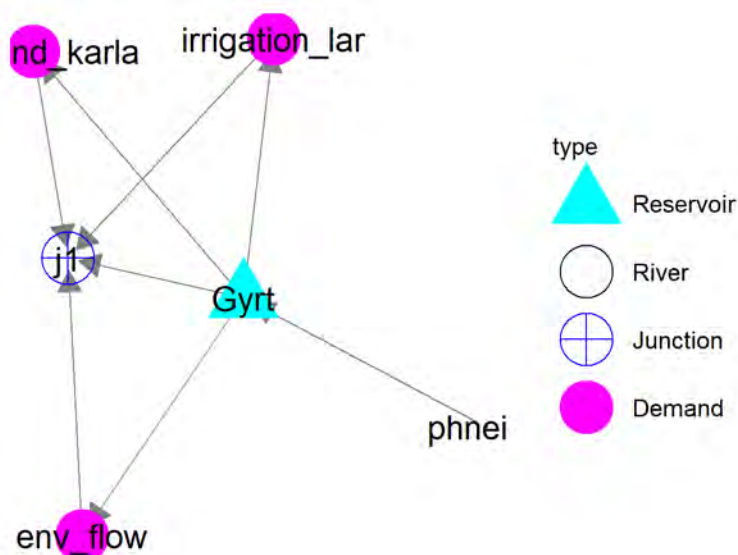
Το θηκόγραμμα (boxplot) αποτελεί μια γραφική απεικόνιση των παρακάτω στατιστικών δεδομένων: της μικρότερης παρατήρησης, της διαμέσου και της μεγαλύτερης παρατήρησης, χωρίζοντας κάθε τμήμα του θηκογράμματος σε δυο μέρη. Με αυτή την απεικόνιση γίνεται δυνατή η παρατήρηση του μεγέθους της διασποράς, της ασυμμετρίας των δεδομένων και οι διαφορές των τμημάτων του θηκογράμματος.

## 6.1 Γυρτώνη

### 6.1.1 WRSS

#### Προσομοίωση Ταμιευτήρα Γυρτώνης για τα έτη 1960-2006

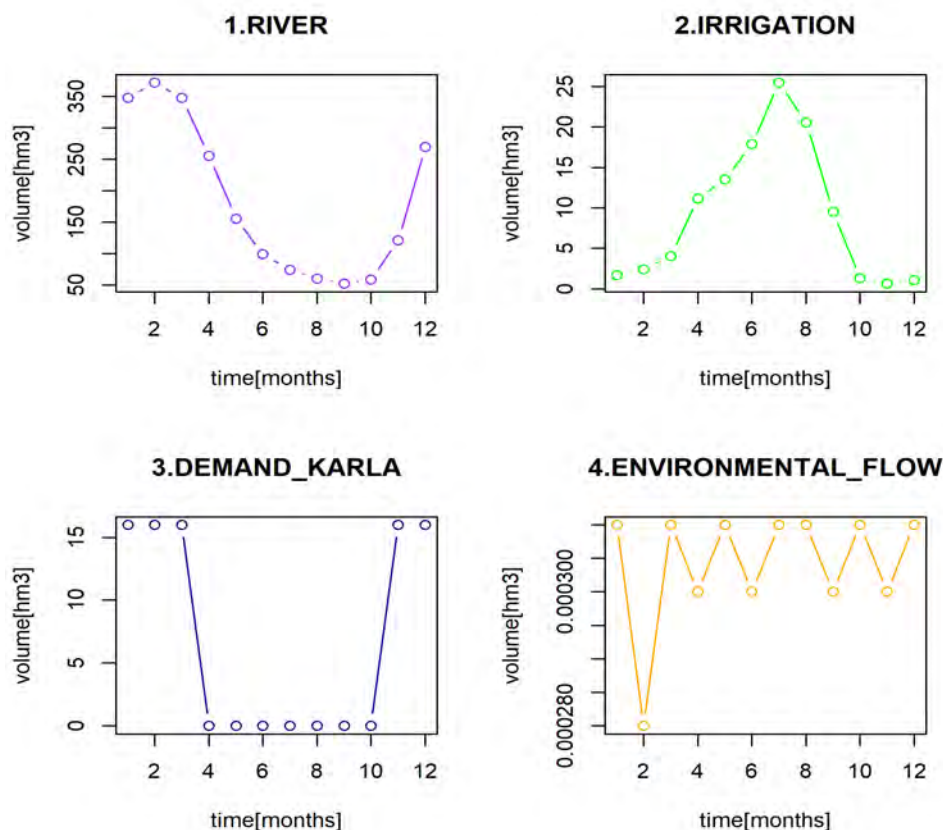
Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται το αποτέλεσμα της σχηματοποίησης της περιοχής μελέτης της πρώτης περιοχής του ταμιευτήρα Γυρτώνης. Ξεκινώντας από τον ποταμό Πηνειό, η εισροή εισέρχεται στον ταμιευτήρα και καταλήγει στις τρεις ζητήσεις της άρδευσης της περιοχής της Λάρισας, της ποσότητας του νερού που θα διατεθεί στην Κάρλα και της περιβαλλοντικής παροχής. Τέλος, οι ζητήσεις με τη σειρά τους καταλήγουν σε έναν κόμβο ο οποίος αντιπροσωπεύει τη συνολική ζήτηση την οποία καλείται να καλύψει ο ταμιευτήρας Γυρτώνης.



Σχήμα 8: Σχηματοποίηση Περιοχής Γυρτώνης

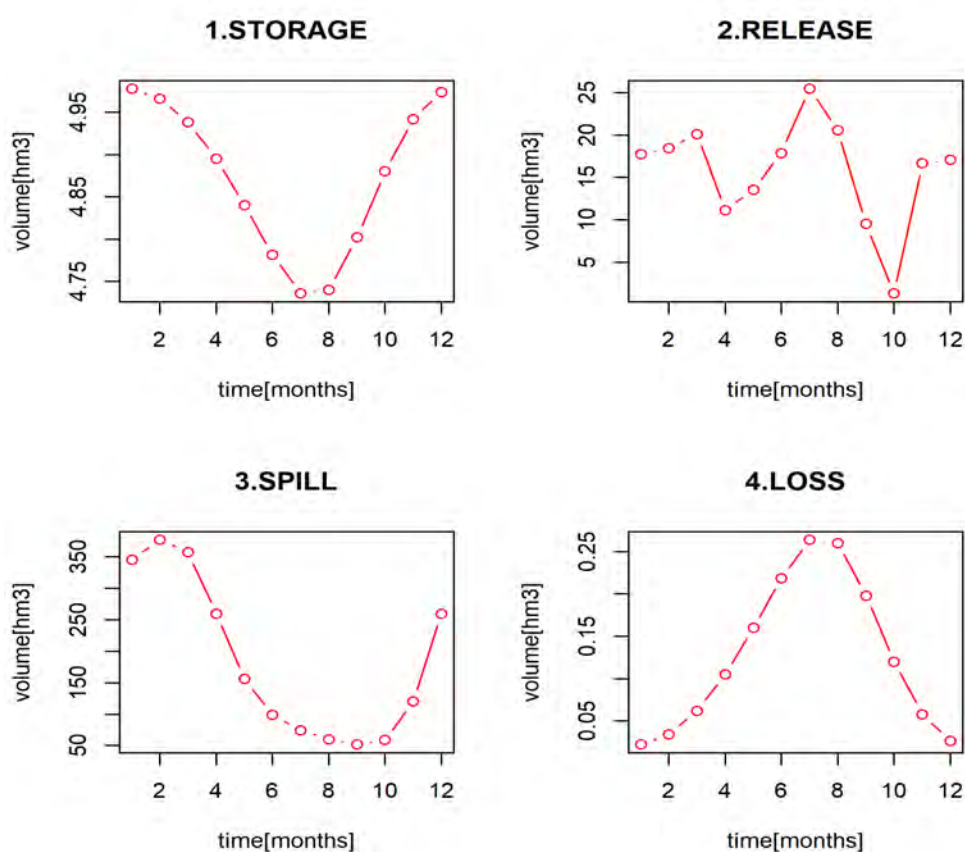
Στη συνέχεια, παρουσιάζεται η κατανομή της εκροής του ποταμού Πηνειού στους μήνες του έτους, με χαρακτηριστικά ακρότατα τους υψηλούς όγκους τους χειμερινούς μήνες Ιανουάριο και Φεβρουάριο, και χαμηλές ποσότητες νερού κατά τους θερινούς μήνες Ιούνιο, Ιούλιο, Αύγουστο έως και την αρχική του φθινοπώρου όπου από τον

Οκτώβριο και μετά ο ποταμός αρχίζει να συγκεντρώνει και πάλι μεγάλες ποσότητες νερού. Εδώ, παρατηρείται συνέπεια με τις ζητήσεις, τα διαγράμματα των οποίων παρουσιάζονται ακολούθως, και αυτό διότι η φθίνουσα πορεία της καμπύλης εκροής από το μήνα Απρίλιο έως Αύγουστο δικαιολογείται από τις αυξημένες ποσότητες που χρησιμοποιούνται για την άρδευση των αγροτικών περιοχών της Λάρισας κατά αυτούς τους μήνες, αγγίζοντας τα  $25\text{hm}^3$  τον Ιούλιο. Η άρδευση συνεχίζεται έως τον Οκτώβριο, όμως η ποσότητα που αρδεύεται από τον ποταμό είναι μειωμένη εξαιτίας της κάλυψης υδατικών ποσοτήτων από τη βροχόπτωση που χαρακτηρίζει τη φθινοπωρινή περίοδο, ενώ τους υπόλοιπους μήνες η ποσότητα νερού για άρδευση είναι ελάχιστη. Για τους μήνες Οκτώβριο με Ιανουάριο, παρά την ποσότητα των  $16\text{hm}^3/\text{μήνα}$  που αντλείται από το αντλιοστάσιο της Κάρλας τους μήνες αυτούς, η αύξουσα πορεία της εκροής του ποταμού Πηνειού δικαιολογείται και πάλι εξαιτίας της πλήρωσης του ποταμού από τις κατακρημνίσεις της χειμερινής περιόδου.



Διάγραμμα 3: Διαγράμματα Εκροής του Ποταμού Πηνειού στον Ταμιευτήρα και Εισροής στη Ζήτηση του Ταμιευτήρα Γυρτώνης για τα έτη (1960-2006): Άρδευση Λάρισας, Ζήτηση Αντλιοστασίου Κάρλας και Οικολογική Παροχή.

Τέλος, η ζήτηση της οικολογικής παροχής αποτελεί μια σταθερή και πολύ μικρή ποσότητα ζήτησης των  $10\text{m}^3/\text{sec}$ , και έχει ως σκοπό την αποκατάσταση και συντήρηση των διεργασιών που συντελούνται στο ποτάμιο σύστημα, προς όφελος της διατήρησης των υδρόβιων οικοσυστημάτων, λόγω των μεταβολών της υδρολογικής ροής που έχουν προκληθεί εξαιτίας της ανθρώπινης παρέμβασης.



Διάγραμμα 4: Αποτελέσματα Προσομοίωσης Ταμιευτήρα Γυρτώνης για τα έτη (1960-2006): Αποθήκευση, Εκροή, Υπερχείλιση και Απώλειες

Μετά την εκτέλεση της προσομοίωσης του ταμιευτήρα της Γυρτώνης με τη χρήση του πακέτου WRSS, προέκυψαν τα παραπάνω διαγράμματα αποθήκευσης, εκροής, υπερχειλίσης και απωλειών. Παρατηρώντας τα διαγράμματα, διαπιστώνουμε πως η αποθήκευση διατηρείται σχεδόν σταθερή στα  $5\text{hm}^3$  (διακύμανση μεταξύ των τιμών 4,73 και 4,97), καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, ποσότητα ίση με τη χωρητικότητα του ταμιευτήρα. Ενδιαφέρον παρουσιάζει η διακύμανση της εκροής, η οποία αντιπροσωπεύει τη συνολική ζήτηση αθροιστικά. Όπως περιγράφηκε παραπάνω, η αύξηση της εκροής τους μήνες Νοέμβριο με Μάρτιο, οφείλεται στην άντληση

20hm<sup>3</sup>/μήνα που διοχετεύονται στην περιοχή της Κάρλας, η οποία σταματά το Μάρτιο, όποτε και έχουμε δικαιολογημένη μείωση της εκροής έως τον Απρίλιο που με την έναρξη της αρδευτικής περιόδου έχουμε και πάλι αύξηση. Αυτή η αύξουσα πορεία σταματά τον Αύγουστο και ακολουθεί μείωση του συνόλου της εκροής κατά τους φθινοπωρινούς μήνες η οποία είναι ακόλουθη της μείωσης της ζήτησης της άρδευσης και της έναρξης των φθινοπωρινών βροχοπτώσεων. Το επόμενο διάγραμμα περιγράφει την υπερχειλίση του ταμιευτήρα, ακολουθώντας τα χαρακτηριστικά των εποχών, απεικονίζοντας αύξηση της ποσότητας από τον Οκτώβριο έως τον Απρίλιο και μείωση την υπόλοιπη περίοδο των αυξημένων ζητήσεων και υψηλότερων θερμοκρασιών. Χαρακτηριστικά σημεία της υπερχειλίσης είναι το ακρότατο που παρατηρούμε το Φεβρουάριο με υπερχειλίση 377 hm<sup>3</sup> και η ελάχιστη ποσότητα των 52hm<sup>3</sup> του Σεπτεμβρίου. Τέλος, οι απώλειες κυμαίνονται σε πολύ χαμηλά επίπεδα μεταξύ 0.06hm<sup>3</sup> και 0.26 hm<sup>3</sup>.

MEAN VALUES						
	STORAGE	RELEASE	SPILL	LOSS	SEEPAGE	POWER
Ιανουάριος	4.98	17.72	345.20	0.02	0.00	0.00
Φεβρουάριος	4.97	18.41	376.91	0.03	0.00	0.00
Μάρτιος	4.94	20.08	357.18	0.06	0.00	0.00
Απρίλιος	4.90	11.14	259.45	0.10	0.00	0.00
Μάιος	4.84	13.54	155.70	0.16	0.00	0.00
Ιούνιος	4.78	17.87	98.91	0.22	0.00	0.00
Ιούλιος	4.74	25.46	74.37	0.26	0.00	0.00
Αύγουστος	4.74	20.55	60.11	0.26	0.00	0.00
Σεπτέμβριος	4.80	9.51	51.83	0.20	0.00	0.00
Οκτώβριος	4.88	1.31	58.78	0.12	0.00	0.00
Νοέμβριος	4.94	16.65	119.91	0.06	0.00	0.00
Δεκέμβριος	4.97	17.08	258.96	0.03	0.00	0.00

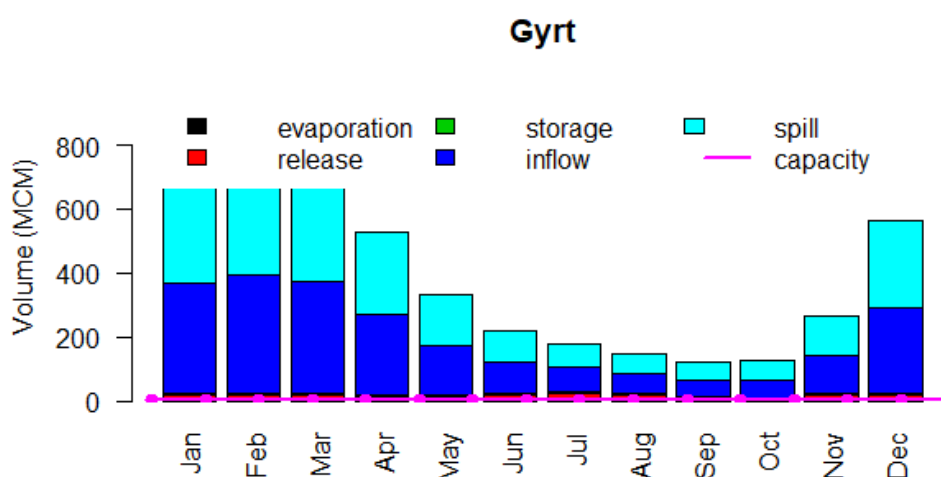
Πίνακας 18: Αποτελέσματα Ταμιευτήρα Γυρτώνης-Αποθήκευση, Υπερχειλίση, Εκροή, Απώλειες, Διήθηση και Παραγωγή Ενέργειας-[hm<sup>3</sup>]

Οι μέσες μηνιαίες τιμές των μεγεθών για την περίοδο 1960-2006 παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα και ακολουθεί διάγραμμα του υδατικού ισοζυγίου.

ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΧΡΟΝΣΕΙΡΑ Q WRSS						
ΕΤΗΣΙΑ	STORAGE	RELEASE	SPILL	LOSS	SEEPAGE	POWER
mean	58.47	189.32	2217.30	1.53	0.00	0.00
min	58.33	189.32	720.87	1.30	0.00	0.00
max	58.70	189.32	5967.63	2871.63	0.00	0.00
MAX-MIN	0.37	0.00	5246.76	2870.32	0.00	0.00

ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑ Q WRSS						
MHNIAIA	STORAGE	RELEASE	SPILL	LOSS	SEEPAGE	POWER
mean	4.87	15.78	184.77	0.13	0.00	0.00
min	4.86	15.78	60.07	0.11	0.00	0.00
max	4.89	15.78	497.30	239.30	0.00	0.00
MAX-MIN	0.03	0.00	437.23	239.19	0.00	0.00

Πίνακας 19: Μηνιαίες και Ετήσιες Τιμές Μεγεθών Ταμιευτήρα Γυρτώνης- Αποθήκευση, Υπερχείλιση, Εκροή, Απώλειες, Διήθηση και Παραγωγή Ενέργειας- [hm<sup>3</sup>]



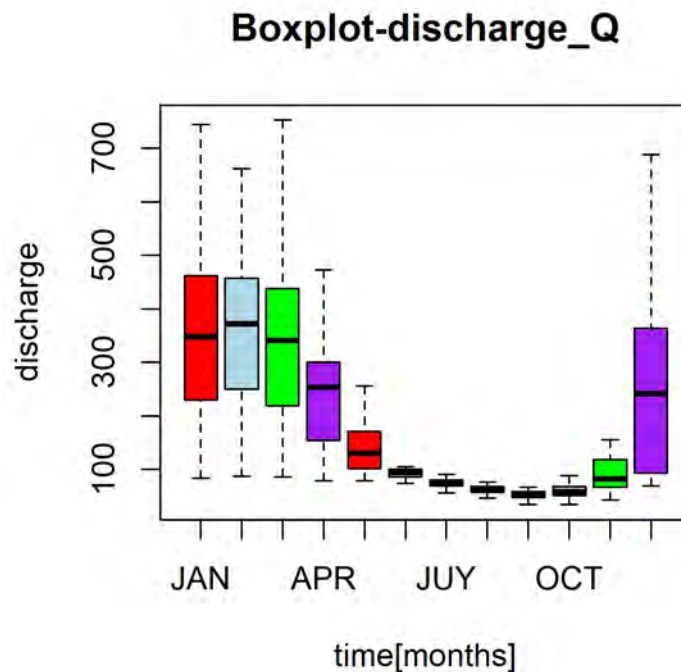
Σχήμα 9: Διάγραμμα Υδατικού Ισοζυγίου Γυρτώνης

## 6.1.2 RESERVOIR

### Προσομοίωση Ταμιευτήρα Γυρτώνης για τα έτη 1960-2006

Αρχικά, παρουσιάζεται το θηκόγραμμα της ιστορικής χρονοσειράς εισροής στον ταμιευτήρα Γυρτώνης με βάση τις μέσες τιμές που έχουν προκύψει για κάθε μήνα από το σύνολο της χρονικής περιόδου των 47 ετών. Ακολουθώντας την πορεία του θηκογράμματος, παρατηρούμε μείωση της εισροής τους μήνες Φεβρουάριο έως Οκτώβριο και αύξηση αυτής από το Νοέμβριο και μετά. Συγκεκριμένα, η μείωση της εισροής εμφανίζεται εντονότερη τους καλοκαιρινούς μήνες, αποτέλεσμα σύμφωνο με αυτό του πρώτου πακέτου WRSS. Η μείωση αυτή είναι αναμενόμενη λόγω της αυξημένης ποσότητας των ζητήσεων της άρδευσης περιοχών της Λάρισας και της άντλησης νερού που θα οδηγηθεί στον ταμιευτήρα της Κάρλας κατά την εαρινή και την καλοκαιρινή περίοδο. Παρατηρούμε ακόμη πως το εύρος μέγιστων και ελάχιστων τιμών είναι μεγαλύτερο τους μήνες Δεκέμβριο, Ιανουάριο και Φεβρουάριο, ενώ τους

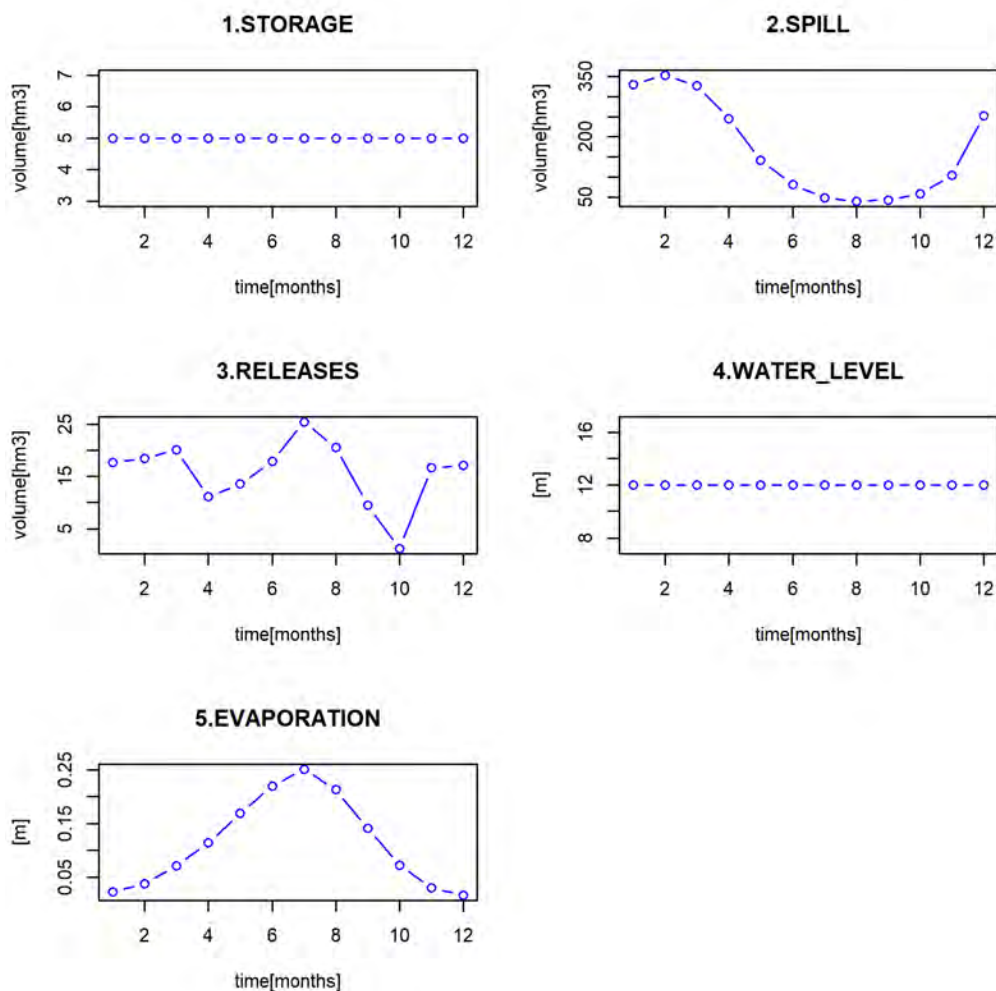
υπόλοιπους μήνες είναι κατά πολύ μικρότερο. Οι ακριβείς τιμές που χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία του θηκογράμματος αναγράφονται στον παρακάτω πίνακα.



Διάγραμμα 5: Θηκόγραμμα Χρονοσειράς Εισροής Q στον Ταμιεντήρα, Προσομοιωμένης από το UTHBAL, κατά τη Χρονική Περίοδο 1960-2006-[hm<sup>3</sup>]

	RESERVOIR RESULTS-1960-2006			
	mean	sd	max	min
Ιανουάριος	348.11	189.21	825.91	82.66
Φεβρουάριος	371.92	168.89	806.52	87.31
Μάρτιος	347.54	168.83	752.71	85.31
Απρίλιος	255.62	142.37	701.38	77.81
Μάιος	156.02	90.43	581.97	78.63
Ιούνιος	99.16	28.99	258.54	63.36
Ιούλιος	74.59	9.80	97.98	49.35
Αύγουστος	60.59	9.05	76.09	36.67
Σεπτέμβριος	52.42	8.50	75.06	31.43
Οκτώβριος	59.15	16.66	111.58	19.29
Νοέμβριος	121.48	123.04	671.89	41.98
Δεκέμβριος	269.82	213.88	1009.48	68.67

Πίνακας 20: Στατιστικά Στοιχεία (μέση τιμή, διάμεσος τιμή, μέγιστη και ελάχιστη τιμή) Χρονοσειράς Εισροής Q στον Ταμιεντήρα, Προσομοιωμένης από το UTHBAL, κατά τη Χρονική Περίοδο 1960-2006-[hm<sup>3</sup>]



Διάγραμμα 6: Αποτελέσματα Προσομοίωσης Ταμιευτήρα Γυρτώνης κατά την περίοδο 1960-2006: Αποθήκευση, Υπερχείλιση, Εκροή, Στάθμη και Εξάτμιση

ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑ Q RESERVOIR					
ΜΗΝΙΑΙΑ	STORAGE	RELEASE	SPILL	EVAPORATION	WATER_LEVEL
mean	5.00	15.78	168.81	0.11	12.00
min	5.00	15.78	44.31	0.09	12.00
max	5.00	15.78	481.54	0.13	12.00
MAX-MIN	0.00	0.00	437.23	0.03	0.00

ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑ Q RESERVOIR					
ΕΤΗΣΙΑ	STORAGE	RELEASE	SPILL	EVAPORATION	WATER_LEVEL
mean	60.00	189.32	2025.74	1.36	144.00
min	60.00	189.32	531.72	1.12	144.00
max	60.00	189.32	5778.47	1.53	144.00
MAX-MIN	0.00	0.00	5246.75	0.41	0.00

Πίνακας 21: Μηνιαία και Ετήσια Αποτελέσματα Προσομοίωσης Ταμιευτήρα Γυρτώνης κατά την περίοδο 1960-2006: Αποθήκευση, Υπερχείλιση, Εκροή, Στάθμη και Εξάτμιση-[hm<sup>3</sup>]



Το παραπάνω διάγραμμα παρουσιάζει τη διακύμανση των μεγεθών αποθήκευσης, εκροής, υπερχειλίσης, στάθμης νερού και εξάτμισης για την προσομοίωση της αρχικής περιόδου των 47 ετών. Οι μέσες τιμές των μεγεθών αναγράφονται στον πίνακα που ακολουθεί το διάγραμμα. Συγκεκριμένα, η αποθήκευση διατηρείται σταθερή και ίση με τον ωφέλιμο όγκο των  $5 \text{ hm}^3$ , όπως και η στάθμη του νερού η οποία παραμένει σταθερή στα 12m της ανώτατης στάθμης. Το διάγραμμα της εκροής κυμαίνεται κοντά στη μέση τιμή των  $15.8 \text{ hm}^3$  τους μήνες Νοέμβριο με Μάρτιο, συμπεριφορά που δικαιολογείται από τη διαδικασία άντλησης κατά τους μήνες αυτούς, ενώ το μήνα Ιούλιο εμφανίζεται αυξημένη τιμή εξαιτίας της ζήτησης της άρδευσης. Τους μήνες Σεπτέμβριο και Οκτώβριο παρατηρούνται χαμηλές τιμές εκροής λόγω μείωσης των αρδευτικών αναγκών κατά τους μήνες αυτούς. Ακόμη, η εξάτμιση έχει κοίλο παραβολικό σχήμα, με τις μεγαλύτερες τιμές να εμφανίζονται τους καλοκαιρινούς μήνες, όπως αναμένεται εξαιτίας των καιρικών συνθηκών της περιοχής. Παρατηρούμε, τέλος, πως η υπερχειλίση παρουσιάζει αρκετά υψηλή μέση τιμή η οποία φτάνει τα  $168 \text{ hm}^3$ , ενώ στο αντίστοιχο διάγραμμα παρατηρούμε την εμφάνιση μέγιστου το Φεβρουάριο και από εκεί και μετά φθίνουσα πορεία έως το Σεπτέμβριο όπου και έχει μειωθεί σε πολύ μεγάλο βαθμό. Η αξιοπιστία που προκύπτει ισούται με τη μονάδα καθώς η μεγάλη ποσότητα εισροής από τον ποταμό Πηνειό στον ταμιευτήρα Γυρτώνης σε συνδυασμό με τη μικρή χωρητικότητα του ταμιευτήρα, οδηγεί σε πλήρη κάλυψη των ζητήσεων. Η ελαστικότητα και η ευπάθεια του συστήματος συμφωνούν με αυτό το αποτέλεσμα με την αδυναμία ορισμού τους, εξαιτίας της απουσίας μη ικανοποιητικών τιμών για υπολογισμό ρυθμού επαναφοράς σε κατάσταση ισορροπίας και μέτρου εύρους κατώτατης τιμής και μη ικανοποιητικών τιμών, αντίστοιχα.

Αποτελέσματα Αξιοπιστίας, Ελαστικότητας και Ευπάθειας Συστήματος κατά την περίοδο 1960-2006:

$$\text{Αξιοπιστία}=1, \text{Ελαστικότητα} = \text{Ευπάθεια} = \text{NA}$$

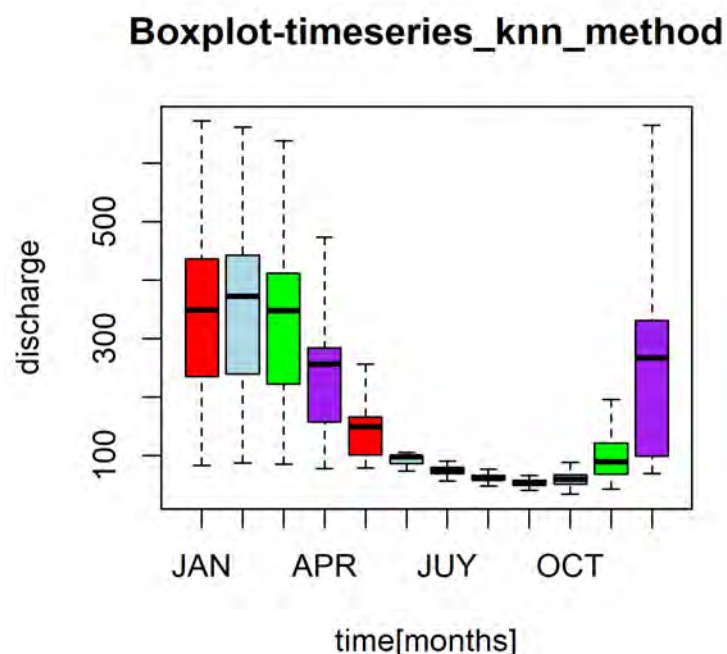
### Συνθετικές Χρονοσειρές

Ακολουθεί η παρουσίαση των στατιστικών στοιχείων μέσης τιμής, διαμέσου τιμής, μέγιστης και ελάχιστης τιμής που προέκυψαν από την παραγωγή δυο συνθετικών χρονοσειρών μέσω της μεθόδου πλησιέστερων  $k$  γειτόνων και PPARMA(1,1) μετά από 100 επαναλήψεις. Τα μεγέθη αυτά έχουν υπολογιστεί με βάση τις 100 μέσες τιμές

που προέκυψαν από τις 100 συνθετικές χρονοσειρές για κάθε μήνα. Κάτω από τον πίνακα της κάθε μεθόδου, παρουσιάζεται το αντίστοιχο θηκόγραμμα όπου απεικονίζονται οι μέσες, μέγιστες και ελάχιστες τιμές κάθε μήνα.

	KNN method			
	mean	sd	max	min
Ιανουάριος	350.06	29.01	437.72	282.24
Φεβρουάριος	363.97	23.71	425.78	310.75
Μάρτιος	341.50	22.70	391.49	287.24
Απρίλιος	250.18	19.13	319.73	218.66
Μάιος	148.76	11.60	180.05	123.20
Ιούνιος	96.47	2.70	102.60	90.63
Ιούλιος	74.41	1.34	77.39	71.30
Αύγουστος	60.68	1.16	63.19	58.00
Σεπτέμβριος	52.82	1.01	55.73	50.53
Οκτώβριος	59.42	2.69	66.20	52.89
Νοέμβριος	115.60	13.76	158.87	86.72
Δεκέμβριος	252.54	27.16	339.82	187.06

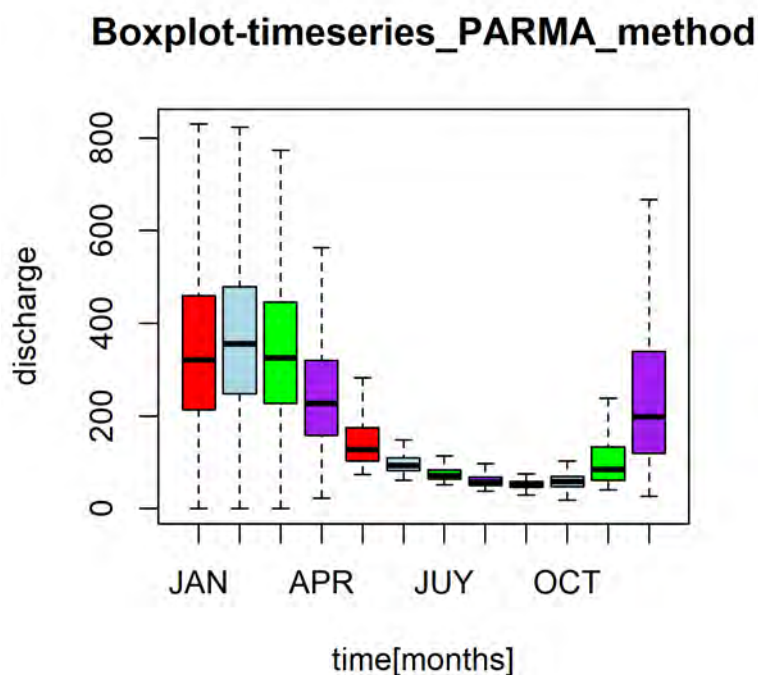
Πίνακας 22: Στατιστικά Στοιχεία (μέση τιμή, διάμεσος τιμή, μέγιστη και ελάχιστη τιμή) Συνθετικής Χρονοσειράς Εισροής μετά από 100 Επαναλήψεις- Μέθοδος Πλησιέστερων k Γειτόνων-[hm<sup>3</sup>]



Διάγραμμα 7: Θηκόγραμμα Χρονοσειρών μετά από 100 Επαναλήψεις- Μέθοδος Πλησιέστερων k Γειτόνων-[hm<sup>3</sup>]

	PARMA method			
	mean	sd	max	min
Ιανουάριος	353.71	26.06	426.21	293.79
Φεβρουάριος	373.59	23.22	440.81	317.64
Μάρτιος	348.39	24.53	419.77	289.66
Απρίλιος	255.66	19.12	307.67	214.60
Μάιος	156.84	12.26	188.92	134.09
Ιούνιος	98.95	3.47	112.72	91.07
Ιούλιος	76.42	2.94	85.70	70.18
Αύγουστος	62.23	2.76	69.11	55.98
Σεπτέμβριος	52.50	1.28	55.40	49.76
Οκτώβριος	59.33	2.82	66.60	50.58
Νοέμβριος	119.36	17.33	165.05	87.88
Δεκέμβριος	273.53	35.03	352.59	205.35

Πίνακας 23: Στατιστικά Στοιχεία (μέση τιμή, διάμεσος τιμή, μέγιστη και ελάχιστη τιμή) Συνθετικής Χρονοσειράς Εισροής μετά από 100 Επαναλήψεις- Μέθοδος PARMA(1,1) -[hm<sup>3</sup>]



Διάγραμμα 8: Θηκόγραμμα Χρονοσειρών μετά από 100 Επαναλήψεις- Μέθοδος PARMA(1,1) -[hm<sup>3</sup>]

Οι πίνακες που ακολουθούν αποτελούν σύνοψη των παραπάνω δεδομένων. Εδώ παρατηρούμε πως μέσω της δεύτερης μεθόδου PARMA(1,1) δημιουργήθηκε συνθετική χρονοσειρά με καλύτερη προσέγγιση στη χρονοσειράς εισροής, ως προς τη

μέση τιμή συγκριτικά με τη μέθοδο πλησιέστερων k γειτόνων. Ωστόσο, η μέθοδος πλησιέστερων k γειτόνων εμφανίζει καλύτερη προσέγγιση ως προς το εύρος μεταξύ μέγιστης και ελάχιστης τιμής.

ΜΗΝΙΑΙΑ	mean	max	min	MAX-MIN
Q	184.70	497.43	60.21	437.22
ΣΥΝΘΕΤΙΚΗ_Knn	180.54	218.21	151.60	66.61
ΣΥΝΘΕΤΙΚΗ_PARMA(1,1)	185.88	224.21	155.05	69.16

ΕΤΗΣΙΑ	mean	max	min	MAX-MIN
Q	2216.42	5969.11	722.47	5246.64
ΣΥΝΘΕΤΙΚΗ_Knn	2166.42	2618.57	1819.22	799.34
ΣΥΝΘΕΤΙΚΗ_PARMA(1,1)	2230.50	2690.54	1860.57	829.97

Πίνακας 24: Έλεγχος Στατιστικών Τιμών (μέση τιμή, διάμεσος τιμή, μέγιστη και ελάχιστη τιμή) χρονοσειράς Q που προέκυψε από προσομοίωση στο UTHBAL και Συνθετικής Χρονοσειράς μετά από 100 Επαναλήψεις - Μέθοδος Πλησιέστερων k-Γειτόνων Μέθοδος PARMA(1,1) μηνιαίες και ετήσιες τιμές-[hm<sup>3</sup>]

#### Αποτελέσματα Προσομοίωσης Ταμιευτήρα Γυρτώνης με χρήση Συνθετικών Χρονοσειρών Εισροής

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε επόμενη προσομοίωση για τον ταμιευτήρα Γυρτώνης μέσω της χρήσης των παραπάνω συνθετικών δεδομένων εισροής, και για τις δυο μεθόδους. Προέκυψαν από αυτή τα παρακάτω μεγέθη αποθήκευσης, απόληψης, υπερχειλίσσης, εξάτμισης και στάθμης νερού στον ταμιευτήρα, από τις μέσες τιμές των 100 επαναλήψεων για κάθε μήνα, μεγέθη που απεικονίζονται στα αντίστοιχα διαγράμματα. Για ευκολότερη σύγκριση των αποτελεσμάτων, παρατίθενται επιπλέον οι πίνακες των μεγεθών που προέκυψαν από την αρχική προσομοίωση ιστορικών δεδομένων 47 ετών και για τα δυο πακέτα. Η σύγκριση των δυο πακέτων μπορεί να γίνει για τα μεγέθη αποθήκευσης, απόληψης και υπερχειλίσσης, παρατηρώντας πως οι τιμές τους είναι αρκετά κοντά. Σε ότι αφορά στη σύγκριση των δυο μεθόδων Πλησιέστερων k Γειτόνων και PARMA(1,1), οδηγούμαστε στην ίδια διαπίστωση με την προηγούμενη, των αποτελεσμάτων εισροής, καθώς η πρώτη παρουσιάζει πιο «στενά» όρια μέγιστης και ελάχιστης τιμής και η δεύτερη προσεγγίζει καλύτερα την ιστορική χρονοσειρά ως προς τη μέση τιμή. Τα διαγράμματα που ακολουθούν αποτελούν απόδειξη της καλής προσέγγισης και των δυο μεθόδων εξαιτίας της ομοιότητας μεταξύ τους, αλλά και με το προηγούμενο διάγραμμα της αρχικής προσομοίωσης. Ακόμη, η αξιοπιστία

υπολογίζεται ίση με 1 και για τις δυο μεθόδους, ενώ δεν ορίζεται ελαστικότητα και ευπάθεια συστήματος, υποδηλώνοντας δυνατότητα κάλυψης των ζητήσεων από τον ταμιευτήρα, για τους λόγους που περιγράφηκαν στην αρχική προσομοίωση.

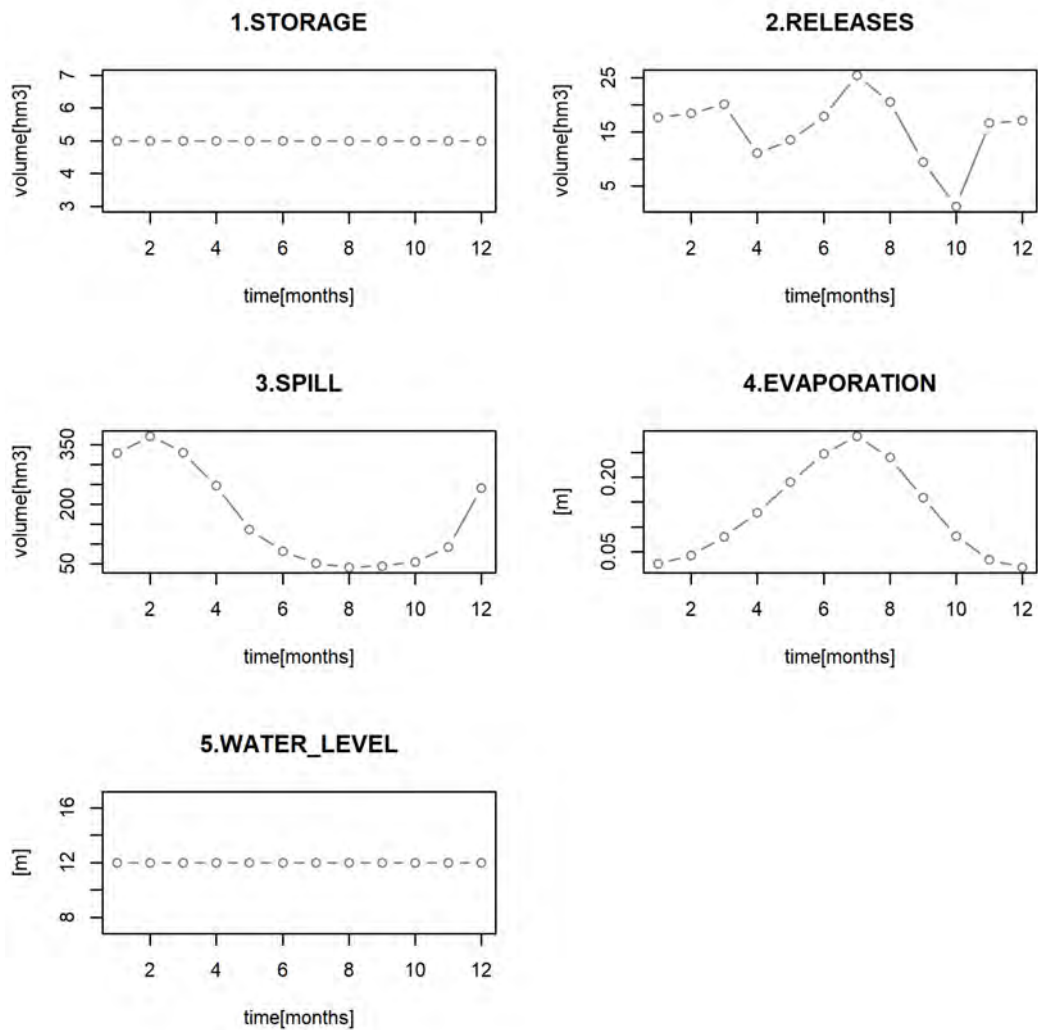
KNN method					
ΕΤΗΣΙΑ	STORAGE	RELEASE	SPILL	EVAPORATION	WATER_LEVEL
mean	60.00	189.32	1975.57	1.53	144.00
min	60.00	189.32	1628.37	1.53	144.00
max	60.00	189.32	2427.71	1.53	144.00
MAX-MIN	0.00	0.00	799.34	0.00	0.00

PARMA method					
ΕΤΗΣΙΑ	STORAGE	RELEASE	SPILL	EVAPORATION	WATER_LEVEL
mean	59.93	189.16	2039.81	1.53	143.84
min	59.15	186.93	1671.70	1.52	141.96
max	60.00	189.32	2499.93	1.53	144.00
MAX-MIN	0.85	2.39	828.24	0.01	2.04

ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΧΡΟΝΣΕΙΡΑ Q RESERVOIR					
ΕΤΗΣΙΑ	STORAGE	RELEASE	SPILL	EVAPORATION	WATER_LEVEL
mean	60.00	189.32	2025.74	1.36	144.00
min	60.00	189.32	531.72	1.12	144.00
max	60.00	189.32	5778.47	1.53	144.00
MAX-MIN	0.00	0.00	5246.75	0.41	0.00

ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΧΡΟΝΣΕΙΡΑ Q WRSS						
ΕΤΗΣΙΑ	STORAGE	RELEASE	SPILL	LOSS	SEEPAGE	POWER
mean	58.47	189.32	2217.30	1.53	0.00	0.00
min	58.33	189.32	720.87	1.30	0.00	0.00
max	58.70	189.32	5967.63	2871.63	0.00	0.00
MAX-MIN	0.37	0.00	5246.76	2870.32	0.00	0.00

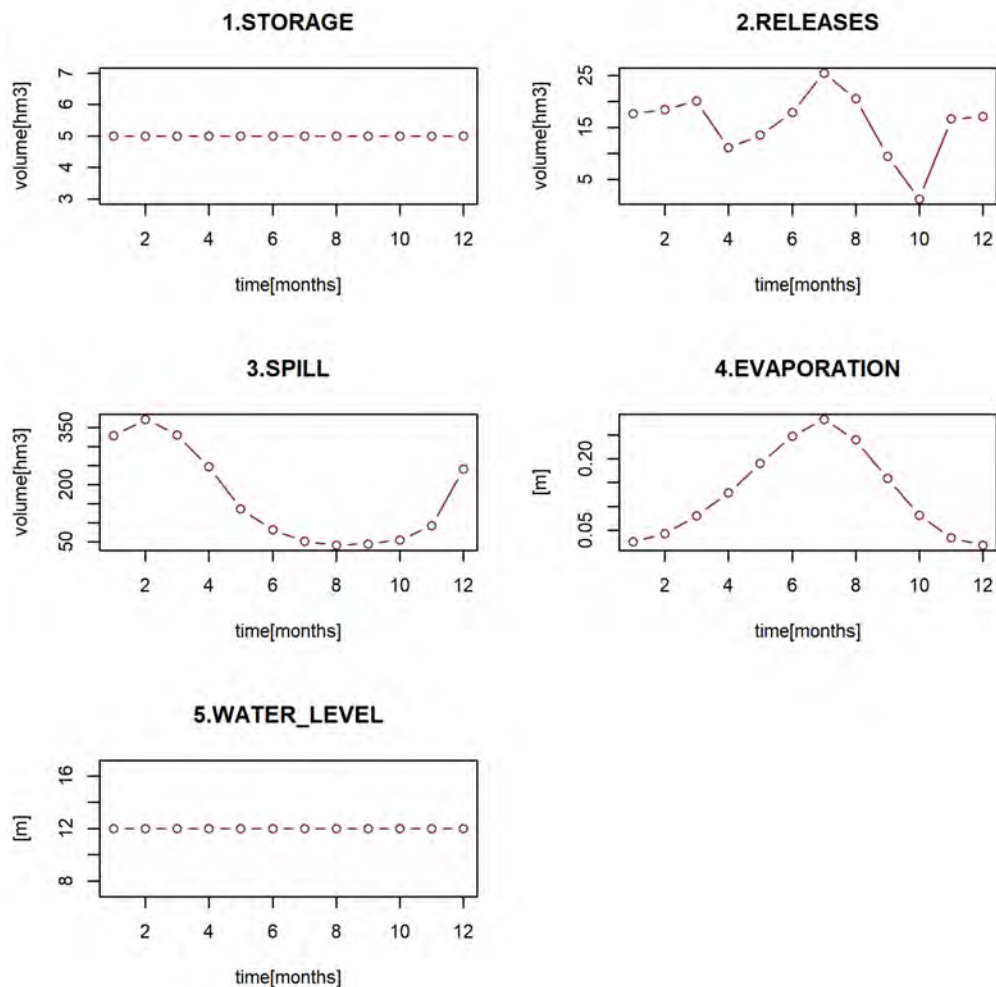
Πίνακας 25: Αποτελέσματα Ταμιευτήρα Γυρτώνης –Μέσες, Ελάχιστες και Μέγιστες Τιμές-Αποθήκευση, Εκροή, Υπερχείλιση , Εξάτμιση και Στάθμη (Μέθοδος Πλησιέστερων k Γειτόνων, Μέθοδος PARMA(1,1) και Ιστορικές Χρονοσειρές RESERVOIR και WRSS) -[hm<sup>3</sup>]



Διάγραμμα 9: Αποτελέσματα Προσομοίωσης Ταμιευτήρα Γυρτώνης με Χρονοσειρά Εισροής τη Συνθετική Χρονοσειρά (100 επαναλήψεις)- Μέθοδος Πλησιέστερων k Γειτόνων: Αποθήκευση, Υπερχείλιση, Εκροή, Εξάτμιση και Στάθμη

Αξιοπιστία, Ελαστικότητα και Ευπάθεια Συστήματος Προσομοίωσης μετά από 100 επαναλήψεις -Μέθοδος Πλησιέστερων k Γειτόνων

Αξιοπιστία =1, Ελαστικότητα = Ευπάθεια = NA



Διάγραμμα 10: Αποτελέσματα Προσομοίωσης Ταμιευτήρα Κάρλας με Χρονοσειρά Εισροής τη Συνθετική Χρονοσειρά (100 επαναλήψεις)- Μέθοδος PARMA(1,1): Αποθήκευση, Υπερχείλιση, Εκροή, Εξάτμιση και Στάθμη

Αξιοπιστία, Ελαστικότητα και Ευπάθεια Συστήματος Προσομοίωσης μετά από 100 επαναλήψεις -Μέθοδος PARMA(1,1)

Αξιοπιστία =1, Ελαστικότητα = Ευπάθεια = NA

## 6.2 Κάρλα

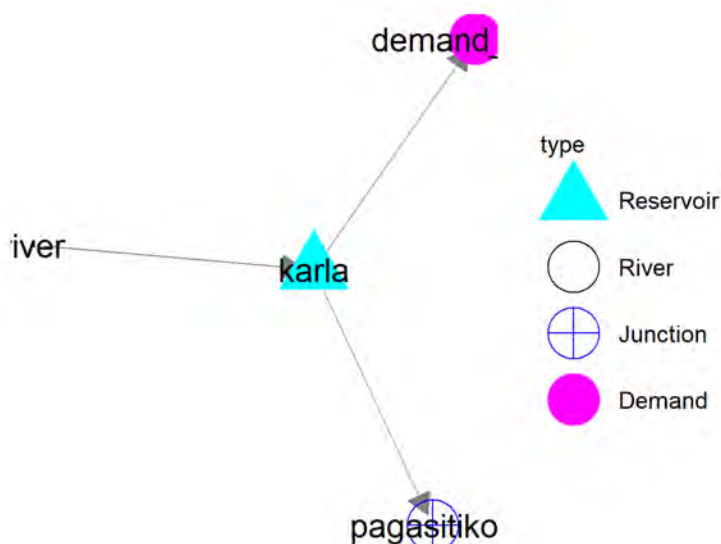
### 6.2.1 WRSS

#### Προσομοίωση Ταμιευτήρα Κάρλας για τα έτη 1960-2006

Η παρακάτω απεικόνιση παρουσιάζει τη σχηματοποίηση της περιοχής του ταμιευτήρα της Κάρλας. Ο ταμιευτήρας δέχεται την απορροή του καναλιού «tíriver»,

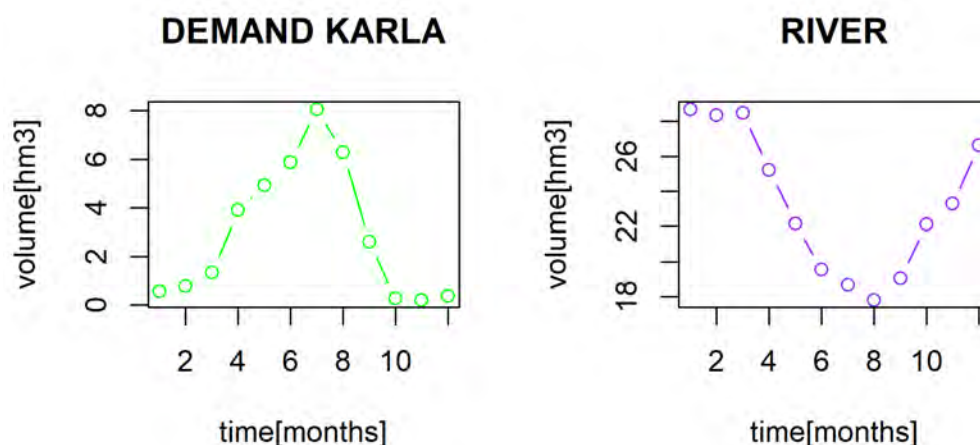


το οποίο περιέχει τον όγκο νερού που εισέρχεται στον ταμιευτήρα εξαιτίας της βροχόπτωσης, συν την απορροή της λεκάνης της Κάρλας συν την ποσότητα του νερού που έχει αντληθεί από τον ποταμό Πηνειό, συγκεκριμένα από το αντλιοστάσιο Κάρλας ( $20\text{hm}^3/\mu\eta\eta\alpha$ ). Το σύνολο του όγκου νερού του καναλιού στη συνέχεια οδηγείται στη ζήτηση της άρδευσης των γύρω περιοχών ενώ οι υπερχειλίζοντες ποσότητες καταλήγουν στον Παγασητικό Κόλπο.



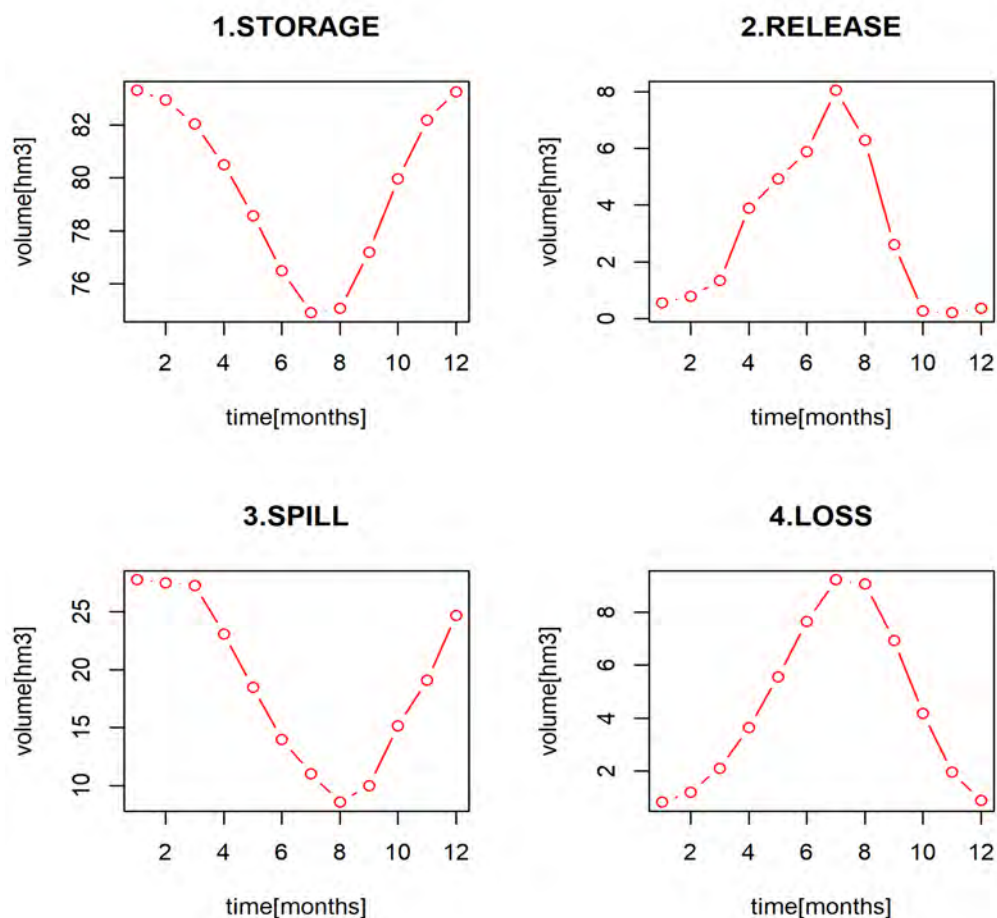
Σχήμα 10: Σχηματοποίηση Περιοχής Κάρλας

Ακολουθεί το διάγραμμα της αρδευτικής ζήτησης και της εκροής του καναλιού ως κατανομή των μέσων μηνιαίων τιμών σε ένα έτος. Η άρδευση των περιοχών της Κάρλας από τον ταμιευτήρα γίνεται μεταξύ των μηνών Απριλίου και Αυγούστου, με το μέγιστο όγκο να εμφανίζεται τον Ιούλιο στα  $8\text{hm}^3$ , και ελάχιστες ποσότητες να χρησιμοποιούνται τους φθινοπωρινούς και χειμερινούς μήνες. Την ακριβώς αντίστροφη πορεία παρουσιάζει, όπως είναι λογικό, η εκροή του καναλιού, το οποίο αδειάζει τους μήνες που η ζήτηση αυξάνεται και πληρώνεται τη χρονική περίοδο που υποχωρεί η ζήτηση.



Διάγραμμα 11: Διαγράμματα Εκροής του Καναλιού στον Ταμιευτήρα και Εισροής στη Ζήτηση του Ταμιευτήρα Κάρλας για τα έτη (1960-2006): Άρδευση Κάρλας

Το επόμενο διάγραμμα συγκεντρώνει τα αποτελέσματα αποθήκευσης, εκροής, υπερχειλίσης και απωλειών της προσομοίωσης WRSS, για τον ταμιευτήρα Κάρλας με βάση τις μέσες μηνιαίες τιμές για την περίοδο 1960-2006. Η αποθήκευση παρουσιάζει διακύμανση μεταξύ  $75\text{hm}^3$  και  $83\text{hm}^3$  ξεκινώντας από το μέγιστο τον Ιανουάριο, μειώνεται σταδιακά μέχρι τους μήνες Ιούλιο-Αύγουστο και συνεχίζει με ανοδική πορεία και έως τον Δεκέμβριο. Η εκροή του ταμιευτήρα αναπαριστά την αρδευτική ζήτηση που περιγράφηκε παραπάνω και η οποία λαμβάνει χώρα κυρίως τους εαρινούς και καλοκαιρινούς μήνες. Ακολουθεί η αναπαράσταση της υπερχειλίσης μεταξύ  $8\text{hm}^3$  και  $27\text{hm}^3$ , η μορφή της οποίας βρίσκεται σε συμφωνία με αυτή της αποθήκευσης, συγκεκριμένα με το μέγιστο να εμφανίζεται τον Ιανουάριο και το ελάχιστο τον Αύγουστο. Το τελευταίο διάγραμμα των απωλειών μεταξύ  $0.8\text{hm}^3$  και  $9\text{hm}^3$  αποτελεί μια αύξουσα καμπύλη από το ελάχιστο του Ιανουαρίου έως το μέγιστο του Ιουλίου και στη συνέχεια φθίνει έως το τέλος του έτους. Οι μέσες μηνιαίες τιμές αναγράφονται αναλυτικά στον πίνακα κάτωθι των διαγραμμάτων, ενώ το τελικό διάγραμμα του υδατικού ισοζυγίου συγκεντρώνει την παραπάνω περιγραφή.



Διάγραμμα 12: Αποτελέσματα Προσομοίωσης Ταμιευτήρα Κάρλας για τα έτη (1968-1994): Αποθήκευση, Εκροή, Υπερχείλιση και Απώλειες

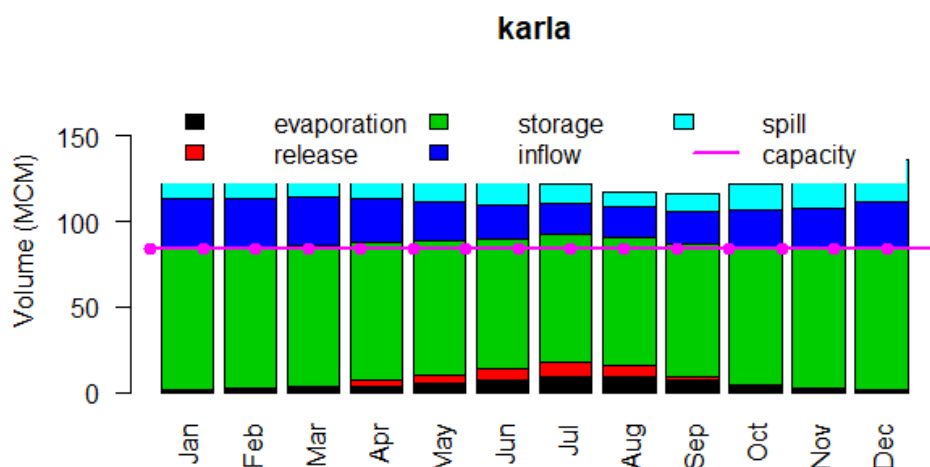
MEAN VALUES						
	STORAGE	SPILL	LOSS	RELEASE	SEEPAGE	POWER
Ιανουάριος	83.30	27.78	0.84	0.56	0.00	0.00
Φεβρουάριος	82.93	27.51	1.21	0.79	0.00	0.00
Μάρτιος	82.03	27.28	2.11	1.34	0.00	0.00
Απρίλιος	80.49	23.09	3.65	3.89	0.00	0.00
Μάιος	78.58	18.49	5.56	4.93	0.00	0.00
Ιούνιος	76.50	13.98	7.64	5.88	0.00	0.00
Ιούλιος	74.92	11.03	9.22	8.05	0.00	0.00
Αύγουστος	75.08	8.58	9.06	6.28	0.00	0.00
Σεπτέμβριος	77.20	9.99	6.94	2.61	0.00	0.00
Οκτώβριος	79.97	15.16	4.17	0.27	0.00	0.00
Νοέμβριος	82.18	19.10	1.96	0.21	0.00	0.00
Δεκέμβριος	83.24	24.68	0.90	0.36	0.00	0.00

Πίνακας 26: Αποτελέσματα Ταμιευτήρα Κάρλας-Αποθήκευση, Υπερχείλιση, Εκροή, Απώλειες, Δήθηση και Παραγωγή Ενέργειας

ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΧΡΟΝΣΕΙΡΑ Q WRSS						
ΜΗΝΙΑΙΑ	STORAGE	RELEASE	SPILL	LOSS	SEEPAGE	POWER
mean	79.70	2.93	18.89	4.44	0.00	0.00
min	79.24	2.93	17.66	3.78	0.00	0.00
max	80.36	2.93	45.87	4.90	0.00	0.00
MAX-MIN	1.12	0.00	28.22	1.12	0.00	0.00

ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΧΡΟΝΣΕΙΡΑ Q WRSS						
ΕΤΗΣΙΑ	STORAGE	RELEASE	SPILL	LOSS	SEEPAGE	POWER
mean	956.42	35.17	226.68	53.26	0.00	0.00
min	950.91	35.17	211.87	45.34	0.00	0.00
max	964.34	35.17	550.49	58.77	0.00	0.00
MAX-MIN	13.42	0.00	338.61	13.42	0.00	0.00

Πίνακας 27: Μηνιαίες και Ετήσιες Τιμές Μεγεθών Ταμιευτήρα Σμοκόβου-Αποθήκευση, Υπερχείλιση, Εκροή, Απώλειες, Διήθηση και Παραγωγή Ενέργειας-  
[hm<sup>3</sup>]



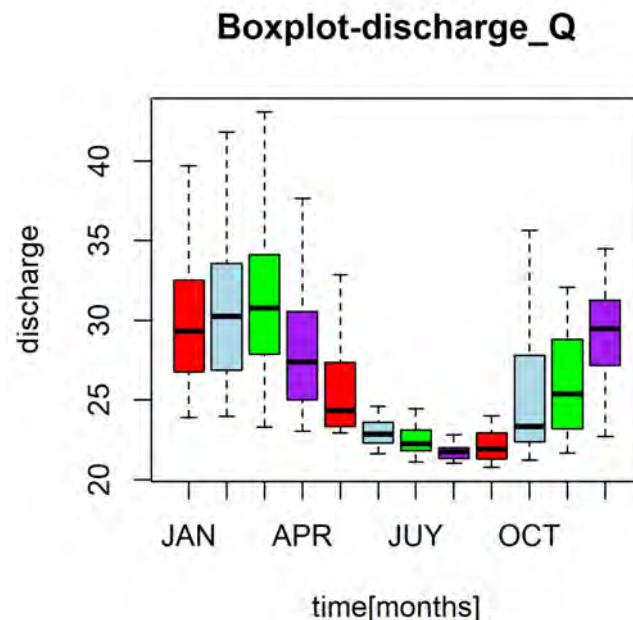
Σχήμα 11: Διάγραμμα Υδατικού Ισοζυγίου Κάρλας

## 6.2.2 RESERVOIR

### Προσομοίωση Ταμιευτήρα Κάρλας για τα έτη 1960-2006

Αρχικά, πραγματοποιήθηκε προσομοίωση του ταμιευτήρα της Κάρλας για τα ιστορικά δεδομένα των 47 ετών. Το επόμενο διάγραμμα αποτελεί θηκόγραμμα της ιστορικής χρονοσειράς εισροής στον ταμιευτήρα της Κάρλας με βάση τις μέσες τιμές

που έχουν προκύψει για κάθε μήνα από το σύνολο των 47 ετών. Διευκρινίζεται ότι πρόκειται για εισροή που προέκυψε ως άθροισμα της ποσότητας νερού που εισέρχεται στον ταμιευτήρα λόγω βροχόπτωσης, του όγκου νερού της λεκάνης απορροής της Κάρλας και του νερού που εισέρχεται από το αντλιοστάσιο Κάρλας στον ποταμό Πηνειό, καθώς θα ακολουθήσουν δυο εναλλακτικά σενάρια εισροής. Το θηκόγραμμα απεικονίζει μείωση της εισροής από το μήνα Μάρτιο έως το Σεπτέμβριο και αύξηση από Οκτώβριο έως Φεβρουάριο, δικαιολογημένες πορείες λόγω καιρικών συνθηκών και άρδευση κατά τους εαρινούς και καλοκαιρινούς μήνες, όπως περιγράφηκε στο πρώτο πακέτο WRSS. Παρατηρούμε, ακόμη, σημαντική μείωση του εύρους μέγιστης-ελάχιστης τιμής τους καλοκαιρινούς μήνες. Τα ακριβή στατιστικά μεγέθη παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα.

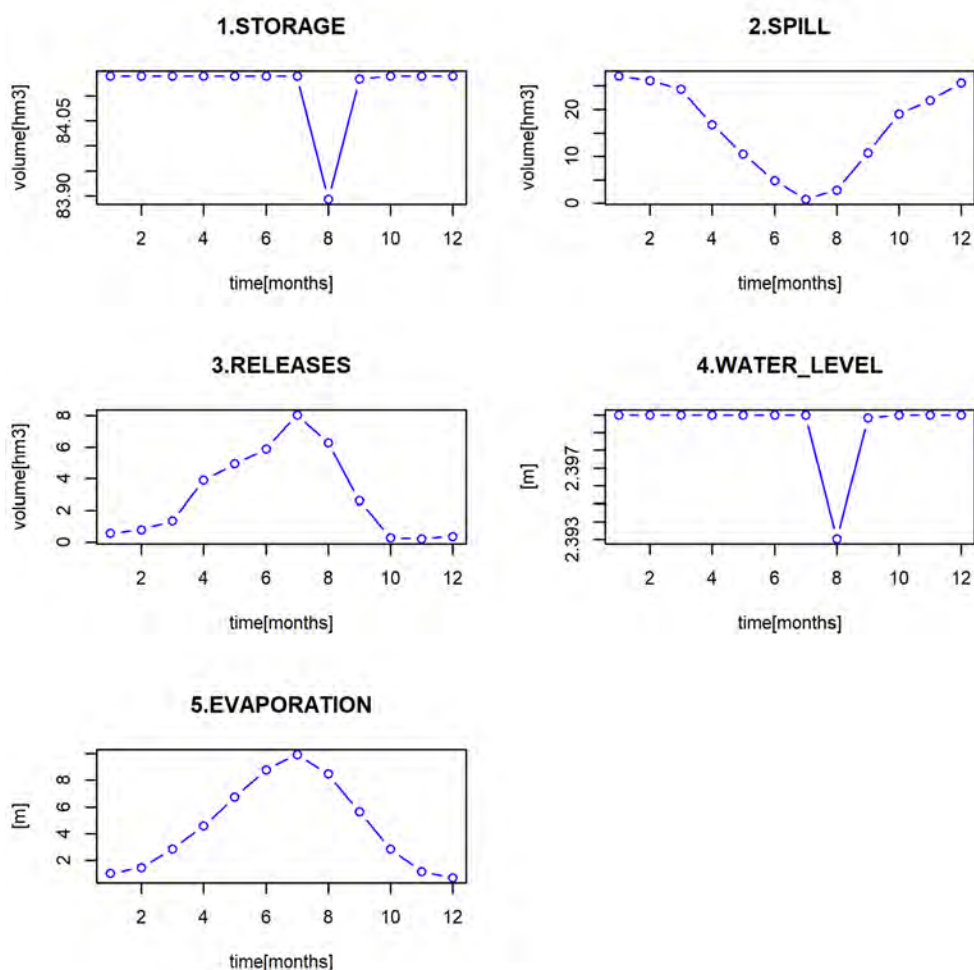


Διάγραμμα 13: Θηκόγραμμα Χρονοσειράς Εισροής Q στον Ταμιευτήρα, Προσομοιωμένης από το UTHBAL, κατά τη Χρονική Περίοδο 1960-2006 [hm<sup>3</sup>]

	RESERVOIR RESULTS-1960-2006			
	mean	sd	max	min
Ιανουάριος	28.68	10.35	69.46	19.90
Φεβρουάριος	28.34	7.74	53.29	19.97
Μάρτιος	28.49	6.68	50.34	19.30
Απρίλιος	25.20	6.64	54.77	19.03
Μάιος	22.14	4.97	49.02	18.94
Ιούνιος	19.54	2.82	35.26	17.65
Ιούλιος	18.67	1.44	25.22	17.11
Αύγουστος	17.80	0.58	19.61	17.04
Σεπτέμβριος	19.05	4.03	39.21	16.76
Οκτώβριος	22.10	6.47	46.63	17.22
Νοέμβριος	23.28	5.97	46.86	17.67
Δεκέμβριος	26.65	7.48	64.31	18.72

Πίνακας 28: Στατιστικά Στοιχεία (μέση τιμή, διάμεσος τιμή, μέγιστη και ελάχιστη τιμή) Χρονοσειράς Εισροής Q στον Ταμιευτήρα, Προσομοιωμένης από το UTHRL, κατά τη Χρονική Περίοδο 1960-2006-[hm<sup>3</sup>]

Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα αποθήκευσης, υπερχειλίσης, εκροής, στάθμης νερού και εξάτμισης όπως αυτά προέκυψαν από την αρχική προσομοίωση του ταμιευτήρα για περίοδο 47 ετών. Είναι εμφανής η απότομη μείωση της αποθήκευσης και της στάθμης τους μήνες Ιούλιο, Αύγουστο και Σεπτέμβριο με το ελάχιστο ακρότατο να εμφανίζεται τον Αύγουστο. Αυτή είναι μια λογική πορεία λόγω της μοναδικής ζήτησης της άρδευσης των γύρω περιοχών, η οποία παρουσιάζει μέγιστες τιμές τον Ιούλιο και τον Αύγουστο, όπως φαίνεται στο αντίστοιχο διάγραμμα εκροής αλλά και της εξάτμισης η οποία, όπως βλέπουμε, κυμαίνεται αντίστοιχα. Αντίθετη πορεία των δυο τελευταίων εμφανίζει η υπερχειλίση, πράγμα που αναμέναμε καθώς το νερό στον ταμιευτήρα μειώνεται κατά την περίοδο άρδευσης και η υπερχειλίση κυμαίνεται σύμφωνα με αυτό. Η αξιοπιστία που προκύπτει ισούται με 1 καθώς η εισροή που θεωρήσαμε σε αυτό το σενάριο αντιπροσωπεύει το καλύτερο σενάριο χωρίς θεώρηση απωλειών και προβλήματα που θα μπορούσαν να προκύψουν από την άντληση από τον Πηνειό. Συνεπώς, η ποσότητα που θεωρήθηκε αρκεί για την κάλυψη της ζήτησης της άρδευσης, ενώ δεν ορίζεται ελαστικότητα και ευπάθεια του συστήματος.



Διάγραμμα 14: Αποτελέσματα Προσομοίωσης Ταμιευτήρα Κάρλας κατά την περίοδο 1960-2006: Αποθήκευση, Υπερχείλιση, Εκροή, Στάθμη και Εξάτμιση

ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑ Q RESERVOIR					
MHNIAIA	STORAGE	RELEASE	SPILL	EVAPORATION	WATER_LEVEL
mean	84.12	2.93	15.89	4.51	2.40
min	83.95	2.93	10.61	3.72	2.39
max	84.14	2.93	38.95	5.08	2.40
MAX-MIN	0.19	0.00	28.34	1.36	0.01

ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑ Q RESERVOIR					
ΕΤΗΣΙΑ	STORAGE	RELEASE	SPILL	EVAPORATION	WATER_LEVEL
mean	1009.43	35.17	190.64	54.13	28.79
min	1007.43	35.17	127.31	44.67	28.74
max	1009.68	35.17	467.41	60.97	28.80
MAX-MIN	2.25	0.00	340.10	16.31	0.06

Πίνακας 29: Μηνιαία και Ετήσια Αποτελέσματα Προσομοίωσης Ταμιευτήρα Κάρλας κατά την περίοδο 1960-2006: Αποθήκευση, Υπερχείλιση, Εκροή, Στάθμη και Εξάτμιση [hm<sup>3</sup>]



Αποτελέσματα Αξιοπιστίας, Ελαστικότητας και Ευπάθειας Συστήματος κατά την περίοδο 1960-2006:

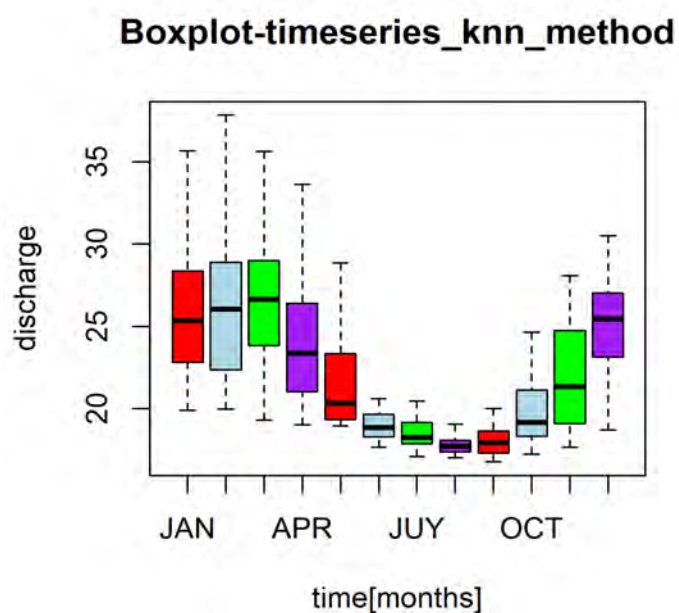
$$\text{Αξιοπιστία}=1, \text{Ελαστικότητα} = \text{Ευπάθεια} = \text{N A}$$

### Συνθετικές Χρονοσειρές

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε δημιουργία συνθετικών χρονοσειρών με χρήση της μεθόδου πλησιέστερων k γειτόνων και PARMA(1,1) μέσα από 100 επαναλήψεις. Παρακάτω, δίνονται τα στατιστικά στοιχεία μέσης τιμής, διαμέσου τιμής, μέγιστης και ελάχιστης τιμής που προέκυψαν από την παραγωγή των συνθετικών αυτών χρονοσειρών, μεγέθη που έχουν υπολογιστεί με βάση τις 100 μέσες τιμές που προέκυψαν από τις 100 συνθετικές χρονοσειρές για κάθε μήνα. Στο αντίστοιχο θηκόγραμμα κάθε μεθόδου απεικονίζονται οι μέσες, μέγιστες και ελάχιστες τιμές που υπολογίστηκαν για κάθε μήνα.

	KNN method			
	mean	sd	max	min
Ιανουάριος	28.68	1.55	32.41	25.56
Φεβρουάριος	27.74	0.96	30.31	25.74
Μάρτιος	28.29	1.02	30.39	24.77
Απρίλιος	24.95	0.87	27.43	22.41
Μάιος	21.85	0.69	23.68	20.32
Ιούνιος	19.38	0.30	20.55	18.79
Ιούλιος	18.74	0.22	19.33	18.25
Αύγουστος	17.81	0.08	18.05	17.59
Σεπτέμβριος	18.89	0.57	20.39	17.86
Οκτώβριος	21.35	0.76	24.16	19.62
Νοέμβριος	22.53	0.70	24.41	20.95
Δεκέμβριος	25.99	0.78	28.12	24.11

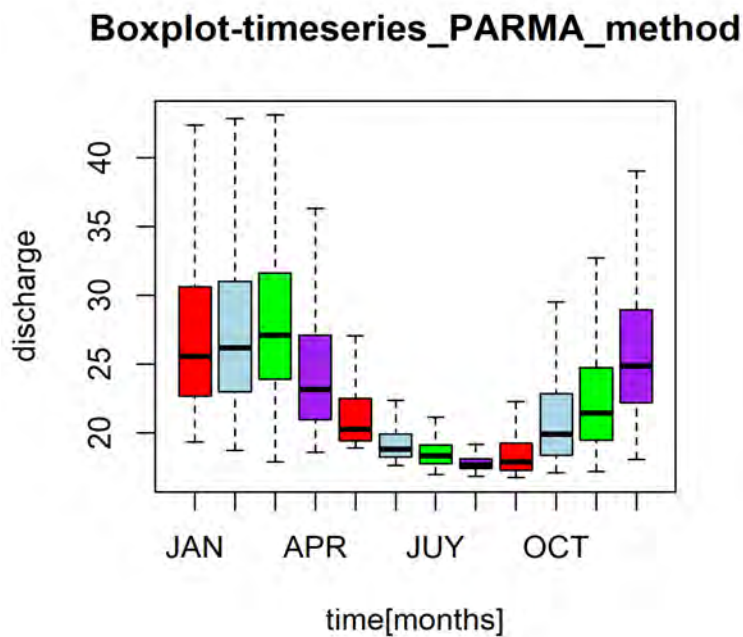
Πίνακας 30: Στατιστικά Στοιχεία (μέση τιμή, διάμεσος τιμή, μέγιστη και ελάχιστη τιμή) Συνθετικής Χρονοσειράς Εισροής μετά από 100 Επαναλήψεις- Μέθοδος Πλησιέστερων k Γειτόνων [hm<sup>3</sup>]



Διάγραμμα 15: Θηκόγραμμα Χρονοσειρών μετά από 100 Επαναλήψεις- Μέθοδος Πλησιέστερων k Γειτόνων[hm<sup>3</sup>]

	PARMA method			
	mean	sd	max	min
Ιανουάριος	28.47	1.36	32.11	25.61
Φεβρουάριος	28.40	1.21	32.54	25.94
Μάρτιος	28.58	0.85	30.69	26.45
Απρίλιος	25.34	1.05	28.17	22.76
Μάιος	22.46	1.05	25.57	20.16
Ιούνιος	19.48	0.36	20.54	18.87
Ιούλιος	18.65	0.19	19.08	18.25
Αύγουστος	17.80	0.09	17.99	17.60
Σεπτέμβριος	18.91	0.49	20.48	18.01
Οκτώβριος	22.18	1.04	25.34	19.88
Νοέμβριος	23.30	0.95	26.10	21.58
Δεκέμβριος	26.66	1.03	29.39	24.53

Πίνακας 31: Στατιστικά Στοιχεία (μέση τιμή, διάμεσος τιμή, μέγιστη και ελάχιστη τιμή) Συνθετικής Χρονοσειράς Εισροής μετά από 100 Επαναλήψεις- Μέθοδος PARMA(1,1) [hm<sup>3</sup>]



Διάγραμμα 16: Θηκόγραμμα Χρονοσειρών μετά από 100 Επαναλήψεις- Μέθοδος PARMA(1,1) [ $\text{hm}^3$ ]

Οι παρακάτω πίνακες αποτελούν σύνοψη των παραπάνω δεδομένων. Την καλύτερη προσέγγιση στην ιστορική χρονοσειρά παρουσιάζει η συνθετική χρονοσειρά που προέκυψε από τη μέθοδο PARMA(1,1) ως προς τη μέση τιμή, όμως η διαφορά μεταξύ μέγιστης και ελάχιστης τιμής είναι μεγαλύτερη σε αυτή τη χρονοσειρά από τη διαφορά που υπολογίστηκε στη μέθοδο πλησιέστερων  $k$  γειτόνων.

ΜΗΝΙΑΙΑ	mean	max	min	MAX-MIN
Q	23.33	46.17	18.28	27.89
ΣΥΝΘΕΤΙΚΗ_Knn	23.02	24.94	21.33	3.61
ΣΥΝΘΕΤΙΚΗ_PARMA(1,1)	23.35	25.67	21.64	4.03

ΕΤΗΣΙΑ	mean	max	min	MAX-MIN
Q	279.94	553.98	219.31	334.67
ΣΥΝΘΕΤΙΚΗ_Knn	276.21	299.24	255.97	43.27
ΣΥΝΘΕΤΙΚΗ_PARMA(1,1)	280.24	307.99	259.66	48.33

Πίνακας 32: Έλεγχος Στατιστικών Τιμών (μέση τιμή, διάμεσος τιμή, μέγιστη και ελάχιστη τιμή) χρονοσειράς Q που προέκυψε από προσομοίωση στο UTHBAL και Συνθετικής Χρονοσειράς μετά από 100 Επαναλήψεις-- Μέθοδος Πλησιέστερων  $k$  Γειτόνων- Μέθοδος PARMA(1,1)- [ $\text{hm}^3$ ]

## Αποτελέσματα Προσομοίωσης Ταμιευτήρα Κάρλας με χρήση Συνθετικών Χρονοσειρών Εισροής

Τα παραπάνω συνθετικά δεδομένα εισροής χρησιμοποιήθηκαν σε επόμενη προσομοίωση του ταμιευτήρα Κάρλας που πραγματοποιήθηκε. Προέκυψαν από αυτή τα παρακάτω μεγέθη αποθήκευσης, απόληψης, υπερχειλίσης, εξάτμισης και στάθμης νερού στον ταμιευτήρα, από τις μέσες τιμές των 100 επαναλήψεων για κάθε μήνα, μεγέθη που απεικονίζονται στα αντίστοιχα διαγράμματα. Για διευκόλυνση της συσχέτισης των αποτελεσμάτων, παρατίθενται πρώτα οι πίνακες των μεγεθών που προέκυψαν από την αρχική προσομοίωση ιστορικών δεδομένων 47 ετών και για τα δυο πακέτα.

KNN method					
ΕΤΗΣΙΑ	STORAGE	RELEASE	SPILL	EVAPORATION	WATER_LEVEL
mean	1009.50	35.17	186.91	54.13	28.80
min	1009.41	35.17	166.69	54.13	28.79
max	1009.60	35.17	209.97	54.13	28.80
MAX-MIN	0.19	0.00	43.28	0.00	0.01

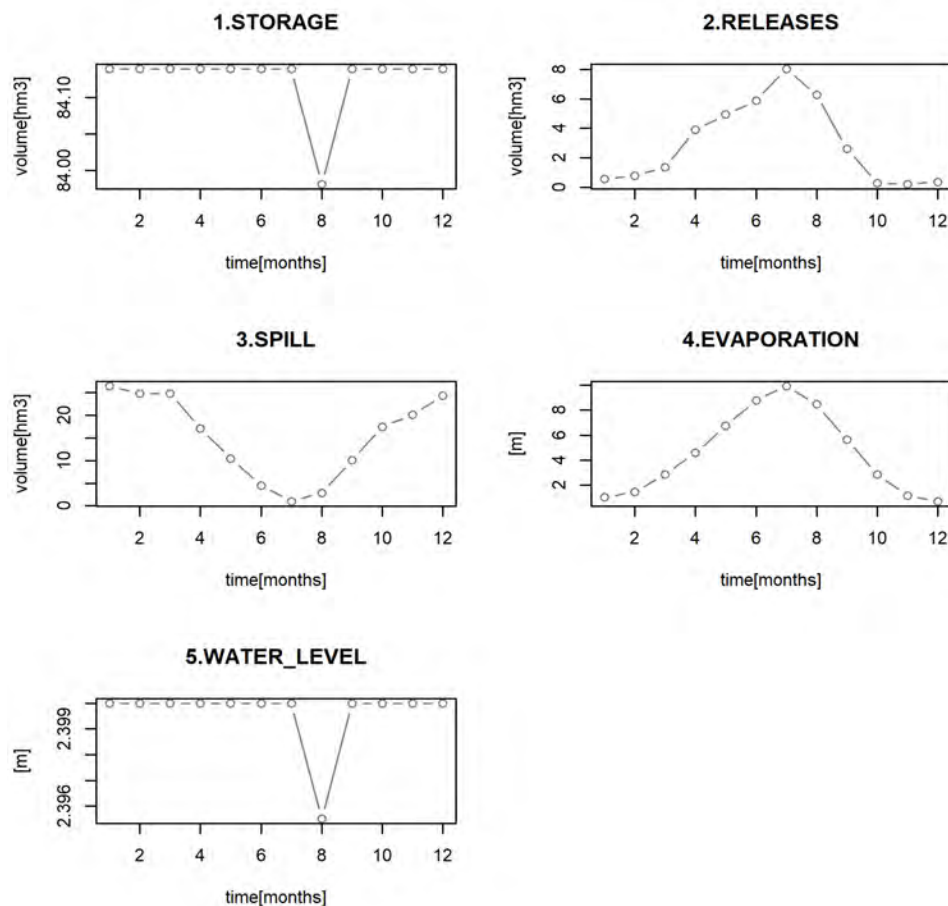
PARMA method					
ΕΤΗΣΙΑ	STORAGE	RELEASE	SPILL	EVAPORATION	WATER_LEVEL
mean	1009.49	35.17	190.94	54.13	28.79
min	1009.41	35.17	170.35	54.13	28.79
max	1009.58	35.17	218.74	54.13	28.80
MAX-MIN	0.17	0.00	48.39	0.00	0.00

ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΧΡΟΝΣΕΙΡΑ Q RESERVOIR					
ΕΤΗΣΙΑ	STORAGE	RELEASE	SPILL	EVAPORATION	WATER_LEVEL
mean	1009.43	35.17	190.64	54.13	28.79
min	1007.43	35.17	127.31	44.67	28.74
max	1009.68	35.17	467.41	60.97	28.80
MAX-MIN	2.25	0.00	340.10	16.31	0.06

ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΧΡΟΝΣΕΙΡΑ Q WRSS						
ΕΤΗΣΙΑ	STORAGE	RELEASE	SPILL	LOSS	SEEPAGE	POWER
mean	956.42	35.17	226.68	53.26	0.00	0.00
min	950.91	35.17	211.87	45.34	0.00	0.00
max	964.34	35.17	550.49	58.77	0.00	0.00
MAX-MIN	13.42	0.00	338.61	13.42	0.00	0.00

Πίνακας 33: Αποτελέσματα Ταμιευτήρα Κάρλας -Μέσες Μέσες, Ελάχιστες και Μέγιστες Ετήσιες Τιμές-Αποθήκευση, Εκροή, Υπερχειλίση, Εξάτμιση και Στάθμη (Μέθοδος Πλησιέστερων k Γειτόνων και Μέθοδος PARMA(1,1)) [hm<sup>3</sup>]

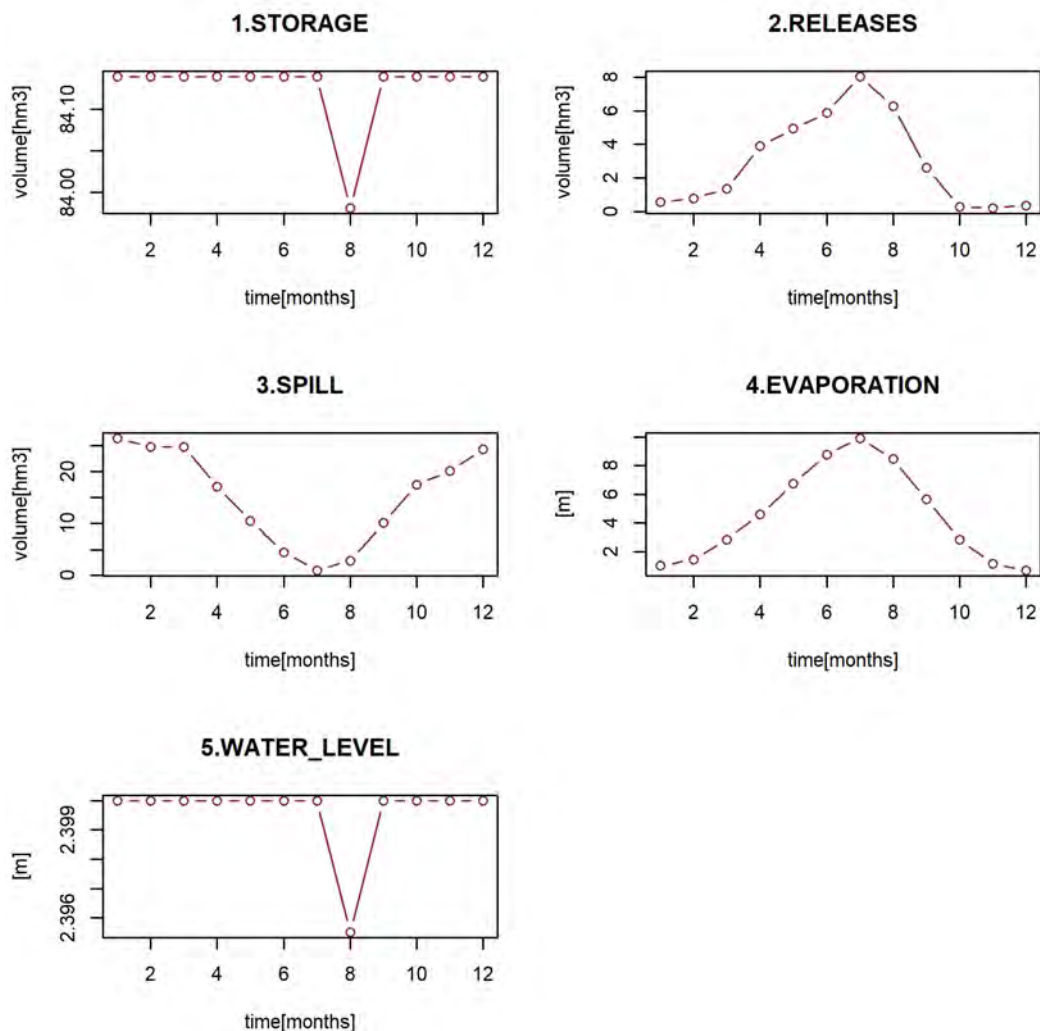
Παρατηρώντας τις τιμές αποθήκευσης, απόληψης και υπερχειλίσης που προέκυψαν από τα δυο πακέτα, WRSS και Reservoir, διαπιστώνουμε ομοιότητα των αποτελεσμάτων. Συγκρίνοντας τις δυο μεθόδους, Πλησιέστερων k Γειτόνων και PARMA(1,1), οδηγούμαστε στο συμπέρασμα πως η δεύτερη μέθοδος, PARMA(1,1), δημιούργησε τη συνθετική χρονοσειρά με την καλύτερη προσέγγιση στα ιστορικά δεδομένα, τόσο ως προς τη μέση τιμή εισροής, όσο και ως προς τη διαφορά μέγιστης και ελάχιστης τιμής των χαρακτηριστικών όγκων, με μόνη εξαίρεση το εύρος υπερχειλίσης το οποίο είναι μικρότερο στην πρώτη μέθοδο, χωρίς όμως να παρατηρείται μεγάλη διαφορά. Τα ακόλουθα διαγράμματα απεικονίζουν την καλή προσέγγιση και των δυο μεθόδων λόγω ομοιότητάς τους με το προηγούμενο διάγραμμα της αρχικής προσομοίωσης. Η αξιοπιστία του συστήματος ισούται με 1 και στις δυο μεθόδους, υποδηλώνοντας δυνατότητα κάλυψης των αναγκών της άρδευσης της περιοχής της Κάρλας από τον ταμιευτήρα.



Διάγραμμα 17: Αποτελέσματα Προσομοίωσης Ταμιευτήρα Κάρλας με Χρονοσειρά Εισροής τη Συνθετική Χρονοσειρά (100 επαναλήψεις)- Μέθοδος Πλησιέστερων k Γειτόνων: Αποθήκευση, Υπερχειλίση, Εκροή, Εξάτμιση και Στάθμη-[hm<sup>3</sup>]

Αξιοπιστία, Ελαστικότητα και Ευπάθεια Συστήματος Προσομοίωσης μετά από 100 επαναλήψεις -Μέθοδος Πλησιέστερων k Γειτόνων

Αξιοπιστία =1, Ελαστικότητα = Ευπάθεια = NA



Διάγραμμα 18: Αποτελέσματα Προσομοίωσης Ταμιευτήρα Κάρλας με Χρονοσειρά Εισροής τη Συνθετική Χρονοσειρά (100 επαναλήψεις)- Μέθοδος PARMA(1,1): Αποθήκευση, Υπερχείλιση, Εκροή, Εξάτμιση και Στάθμη

Αξιοπιστία, Ελαστικότητα και Ευπάθεια Συστήματος Προσομοίωσης μετά από 100 επαναλήψεις -Μέθοδος PARMA(1,1)

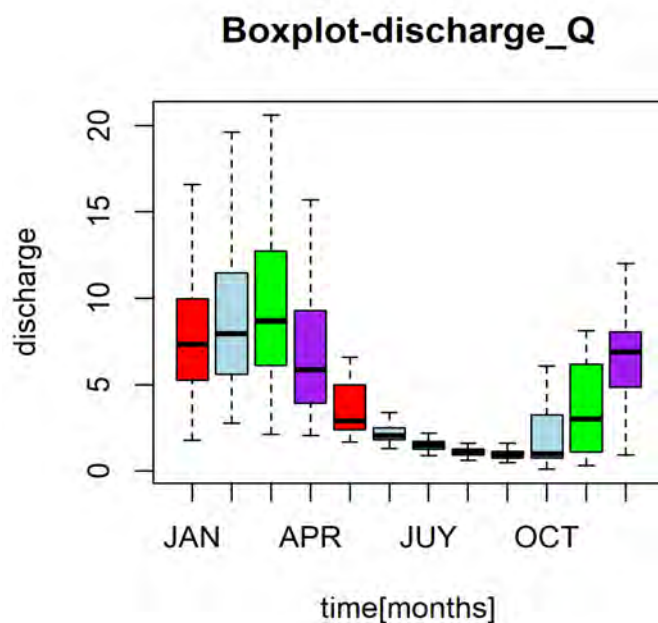
Αξιοπιστία =1, Ελαστικότητα = Ευπάθεια = NA

### 6.2.3 Κάρλα: ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΟ ΣΕΝΑΡΙΟ 1

Στο παρόν υποκεφάλαιο παρατίθενται τα αποτελέσματα μιας εναλλακτικής προσομοίωσης για τον ταμιευτήρα της Κάρλας για την ίδια περίοδο ετών με την αρχική (έτη 1960-2006). Όπως προαναφέρθηκε, η αρχική προσομοίωση αποτελεί ένα ιδανικό σενάριο σύμφωνα με το οποίο ολόκληρη η ποσότητα νερού που δύναται να εισέλθει στον ταμιευτήρα και η οποία προέρχεται από τη λεκάνη απορροής και την άντληση από τον ποταμό Πηνειό, καταλήγει ως εισροή στην Κάρλα, παραβλέποντας πιθανά «εμπόδια» που θα μπορούσαν να προκύψουν από αλλαγές είτε στον υδρολογικό κύκλο είτε στη λειτουργία των έργων άντλησης. Συνεπώς, κρίνεται χρήσιμη η μελέτη της συμπεριφοράς του συστήματος σε εναλλακτικά σενάρια εισροής. Σημειώνεται πως, εξαιτίας της ομοιότητας των αποτελεσμάτων των δυο πακέτων RESERVOIR και WRSS στην αρχική προσομοίωση, στη μελέτη των εναλλακτικών σεναρίων χρησιμοποιείται μόνο το πακέτο Reservoir, για αποφυγή πλεονασμού. Το πρώτο, λοιπόν, σενάριο που παρουσιάζεται παρακάτω, εξετάζει τη συμπεριφορά του συστήματος σε μειωμένη εισροή, αφαιρώντας από το σύνολο της εισροής της αρχικής προσομοίωσης την ποσότητα του όγκου της βροχόπτωσης. Με αυτή τη νέα εισροή, πραγματοποιήθηκε προσομοίωση του ταμιευτήρα της Κάρλας για τα ιστορικά δεδομένα των 47 ετών. Το πρώτο διάγραμμα αποτελεί θηκόγραμμα της εναλλακτικής ιστορικής χρονοσειράς εισροής με βάση τις μέσες τιμές που έχουν προκύψει για κάθε μήνα από το σύνολο των 47 ετών.

Στο θηκόγραμμα παρατηρούμε μείωση της εισροής από Μάρτιο έως το Σεπτέμβριο και αύξηση από Οκτώβριο έως Φεβρουάριο, όπως ακριβώς και στο πρώτο σενάριο που όπως αναφέρθηκε η πορεία του διαγράμματος εξηγείται από τις καιρικές συνθήκες και τη ζήτηση της άρδευσης τους εαρινούς και καλοκαιρινούς μήνες, όμως υπάρχει μια τεράστια διαφορά από την αρχική προσομοίωση. Παρατηρείται, εδώ πολύ μεγάλη μείωση του όγκου εισροής. Οι τιμές του διαγράμματος παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

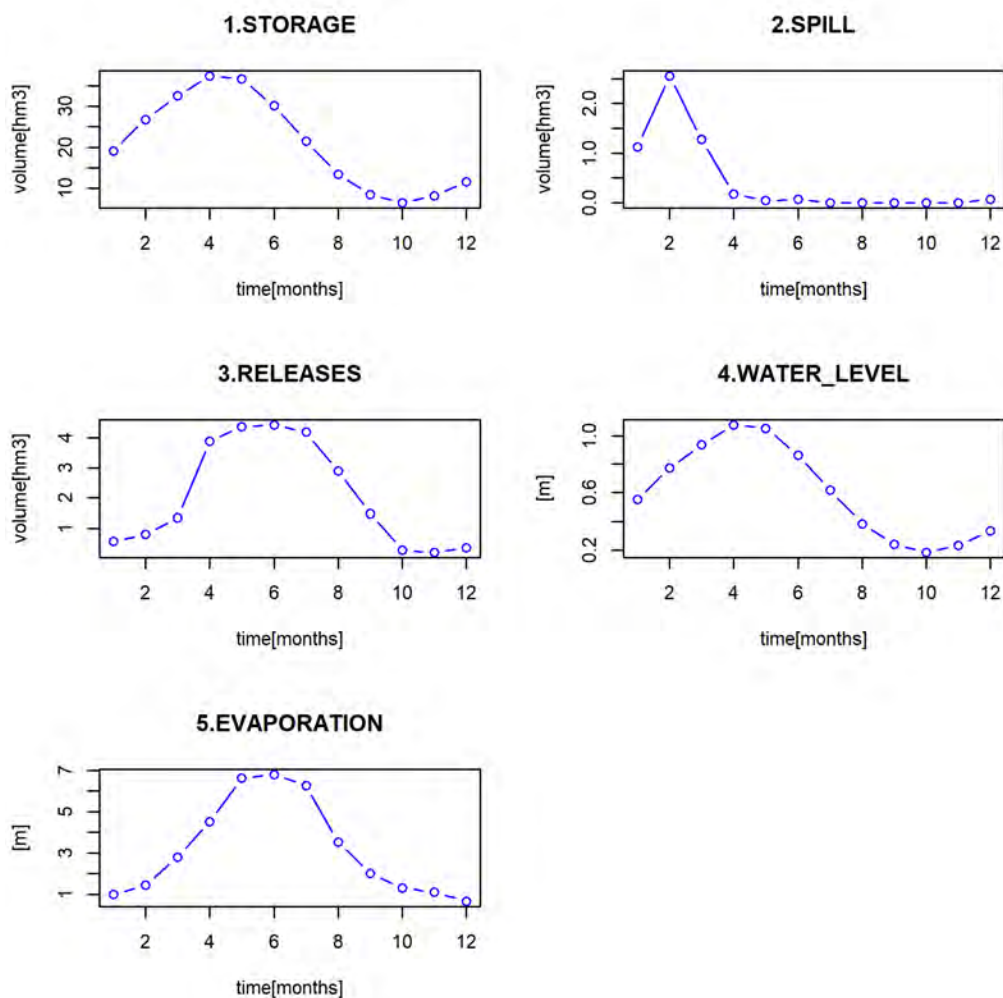




Διάγραμμα 19: Θηκόγραμμα Χρονοσειράς Εισροής Q στον Ταμιευτήρα, Προσομοιωμένης από το UTHBAL, κατά τη Χρονική Περίοδο 1960-2006- Εναλλακτικό Σενάριο 1 [ $\text{hm}^3$ ]

	RESERVOIR RESULTS-1960-2006			
	mean	sd	max	min
Ιανουάριος	10.40	9.51	48.66	1.78
Φεβρουάριος	10.49	7.54	35.78	2.78
Μάρτιος	10.38	6.23	29.35	2.13
Απρίλιος	7.75	6.18	35.57	2.07
Μάιος	4.42	4.33	28.05	1.70
Ιούνιος	2.67	2.56	18.55	1.30
Ιούλιος	1.65	0.68	4.44	0.91
Αύγουστος	1.16	0.37	2.67	0.64
Σεπτέμβριος	1.46	2.07	13.16	0.49
Οκτώβριος	3.26	5.35	26.03	0.10
Νοέμβριος	4.74	5.61	27.31	0.32
Δεκέμβριος	7.84	6.85	43.34	0.94

Πίνακας 34: Στατιστικά Στοιχεία (μέση τιμή, διάμεσος τιμή, μέγιστη και ελάχιστη τιμή) Χρονοσειράς Εισροής Q στον Ταμιευτήρα, Προσομοιωμένης από το UTHRL, κατά τη Χρονική Περίοδο 1960-2006- Εναλλακτικό Σενάριο 1 [ $\text{hm}^3$ ]



Διάγραμμα 20: Αποτελέσματα Προσομοίωσης Ταμιευτήρα Κάρλας κατά την περίοδο 1960-2006: Αποθήκευση, Υπερχείλιση, Εκροή, Στάθμη και Εξάτμιση- Εναλλακτικό Σενάριο 1

ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑ Q RESERVOIR					
ΜΗΝΙΑΙΑ	STORAGE	RELEASE	SPILL	EVAPORATION	WATER_LEVEL
mean	21.03	2.07	0.44	3.17	0.60
min	1.57	0.60	0.00	1.22	0.05
max	71.58	2.93	8.57	5.01	2.04
MAX-MIN	70.01	2.33	8.57	3.78	2.00

ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑ Q RESERVOIR					
ΕΤΗΣΙΑ	STORAGE	RELEASE	SPILL	EVAPORATION	WATER_LEVEL
mean	252.35	24.80	5.31	38.01	7.26
min	18.82	7.21	0.00	14.67	0.55
max	858.91	35.17	102.79	60.08	24.54
MAX-MIN	840.09	27.96	102.79	45.40	23.98

Πίνακας 35: Αποτελέσματα Προσομοίωσης Ταμιευτήρα Κάρλας κατά την περίοδο 1960-2006: Αποθήκευση, Υπερχείλιση, Εκροή, Στάθμη και Εξάτμιση- Εναλλακτικό Σενάριο 1

Στο παραπάνω διάγραμμα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα αποθήκευσης, υπερχειλίσης, εκροής, στάθμης νερού και εξάτμισης όπως αυτά προέκυψαν από την εναλλακτική προσομοίωση για την περίοδο των 47 ετών, και οι τιμές που απεικονίζονται αναγράφονται στον αντίστοιχο πίνακα. Η εξάτμιση εμφανίζει τιμές κοντά σε αυτές τις αρχικής προσομοίωσης με τη μέση τιμή εξάτμισης γύρω στα  $3 \text{ hm}^3$  και για τις δυο προσομοιώσεις. Η μέση τιμή εκροής προκύπτει ίση με  $2 \text{ hm}^3$ , μειωμένη από τη μέση τιμή της πρώτης προσομοίωσης η οποία ήταν ίση με  $4 \text{ hm}^3$ . Τα διαγράμματα των μεγεθών εξάτμισης και εκροής αποτελούν κοίλες παραβολές που παρουσιάζουν μέγιστες τιμές τους μήνες Μάιο με Ιούλιο. Η αποθήκευση και η στάθμη νερού στον ταμιευτήρα παρουσιάζουν τεράστια μείωση συγκριτικά με την αρχική προσομοίωση, αφού η πρώτη έχει μειωθεί από  $84.12 \text{ hm}^3$  σε  $21 \text{ hm}^3$  και η δεύτερη από  $2.4 \text{ m}$  σε  $0.6 \text{ m}$ . Και τα δυο διαγράμματα παρουσιάζουν μείωση από τον Απρίλιο έως τον Οκτώβριο, εξαιτίας των αρδευτικών υδατικών αναγκών. Τέλος, η υπερχειλίση, η οποία παρουσιάζει μέγιστη τιμή τον Φεβρουάριο ίση με  $2.94 \text{ hm}^3$ , μέση τιμή  $0.44 \text{ hm}^3$  και σχεδόν μηδενικές τιμές από Απρίλιο έως Οκτώβριο, παρουσιάζει τεράστια μείωση σε σχέση με την αρχική προσομοίωση η οποία εμφάνισε μέση τιμή  $15.89 \text{ hm}^3$ . Θα μπορούσαμε, εδώ, να συμπεράνουμε πως η ποσότητα της βροχόπτωσης αποτελεί την αιτία της υπερχειλίσης στο σύστημα. Παρακάτω παρατίθενται τα αποτελέσματα αξιοπιστίας, ελαστικότητας και ευπάθειας, τα οποία υπολογίζονται πού μικρότερα του 1. Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, η αξιοπιστία ενός ταμιευτήρα ορίζεται ως η πιθανότητα ότι ο ταμιευτήρας να εκτελέσει την απαραίτητη λειτουργία, δηλαδή θα παρέχει την εκροή που απαιτείται για την ικανοποίηση των υδατικών αναγκών και κυμαίνεται από 0 έως 1. Οι μικρότερες του 1 τιμές που παρουσιάζονται παρακάτω, υποδηλώνουν αδυναμία της κάλυψης των υδατικών τις άρδευσης, εάν η ποσότητα της βροχόπτωσης δεν συμπεριληφθεί στην εισροή. Η ελαστικότητα και η ευπάθεια είναι σύμφωνες με αυτό το συμπέρασμα, αφού η ελαστικότητα, δηλαδή ο ρυθμός επιστροφής σε κατάσταση ισορροπίας και η ευπάθεια, που αποτελεί μέτρο του εύρους κατώτατης τιμής και τιμών μη ικανοποιητικών τιμών, είναι επίσης μικρότερες του 1.

Αποτελέσματα Αξιοπιστίας, Ελαστικότητας και Ευπάθειας Συστήματος κατά την περίοδο 1960-2006:

Αξιοπιστία: annual reliability=0.298, time based reliability=0.789, volumetric reliability=0.705

Ελαστικότητα=0.319, Ευπάθεια =0.846

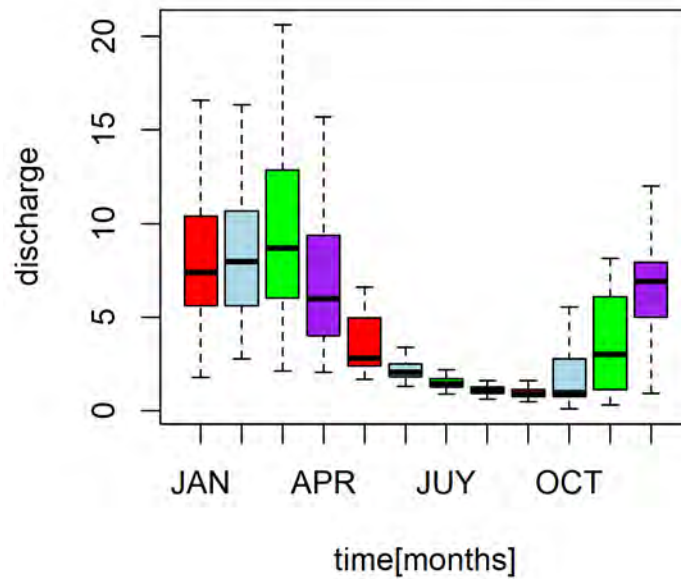
### Συνθετικές Χρονοσειρές

Ακολουθεί η παρουσίαση των στατιστικών στοιχείων μέσης τιμής, διαμέσου τιμής, μέγιστης και ελάχιστης τιμής που προέκυψαν από την παραγωγή δυο συνθετικών χρονοσειρών μέσω της μεθόδου πλησιέστερων k γειτόνων και PARMA(1,1) μετά από 100 επαναλήψεις με δεδομένη τη νέα ιστορική χρονοσειρά του εναλλακτικού σεναρίου. Τα μεγέθη αυτά έχουν υπολογιστεί με βάση τις 100 μέσες τιμές που προέκυψαν από τις 100 συνθετικές χρονοσειρές για κάθε μήνα. Στο θηκόγραμμα κάθε μεθόδου απεικονίζονται οι μέσες, μέγιστες και ελάχιστες τιμές που υπολογίστηκαν για κάθε μήνα.

	KNN method			
	mean	sd	max	min
Ιανουάριος	11.06	1.61	15.17	7.50
Φεβρουάριος	10.40	1.15	13.39	7.33
Μάρτιος	10.53	1.03	13.62	7.97
Απρίλιος	7.82	0.91	10.62	6.13
Μάιος	4.16	0.60	6.35	3.28
Ιούνιος	2.41	0.24	3.23	2.07
Ιούλιος	1.65	0.09	1.90	1.45
Αύγουστος	1.15	0.04	1.26	1.06
Σεπτέμβριος	1.39	0.27	2.17	0.94
Οκτώβριος	2.55	0.59	4.22	1.39
Νοέμβριος	4.10	0.61	5.51	2.81
Δεκέμβριος	7.07	0.65	8.79	5.78

Πίνακας 36: Στατιστικά Στοιχεία (μέση τιμή, διάμεσος τιμή, μέγιστη και ελάχιστη τιμή) Συνθετικής Χρονοσειράς Εισροής μετά από 100 Επαναλήψεις- Μέθοδος Πλησιέστερων k Γειτόνων Εναλλακτικό Σενάριο 1 [hm<sup>3</sup>]

**Boxplot-timeseries\_knn\_method**

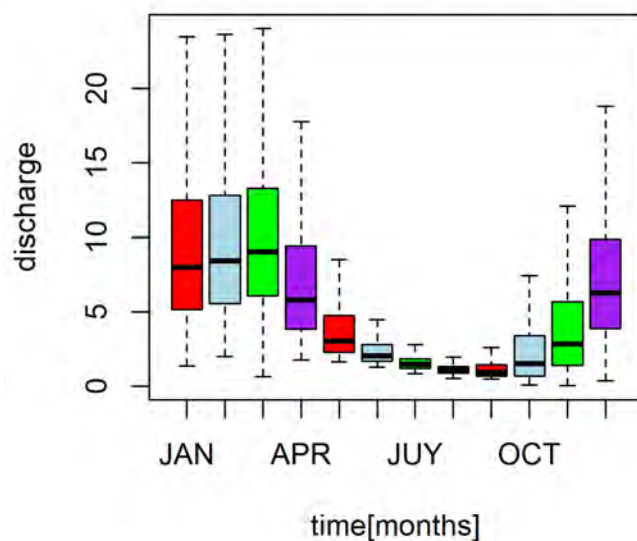


Διάγραμμα 21: Θηκόγραμμα Χρονοσειρών μετά από 100 Επαναλήψεις- Μέθοδος Πλησιέστερων k Γειτόνων- Εναλλακτικό Σενάριο 1 [ $\text{hm}^3$ ]

	PARMA method			
	mean	sd	max	min
Ιανουάριος	10.14	1.11	13.31	7.40
Φεβρουάριος	10.51	1.13	13.87	8.13
Μάρτιος	10.46	0.80	12.59	8.34
Απρίλιος	7.88	0.96	10.55	5.65
Μάιος	4.41	0.68	6.86	2.77
Ιούνιος	2.57	0.28	3.60	2.03
Ιούλιος	1.63	0.09	1.90	1.45
Αύγουστος	1.16	0.05	1.28	1.05
Σεπτέμβριος	1.34	0.20	2.09	1.00
Οκτώβριος	3.05	0.71	5.17	1.64
Νοέμβριος	4.72	0.89	7.13	2.85
Δεκέμβριος	7.88	0.94	10.45	5.86

Πίνακας 37: Στατιστικά Στοιχεία (μέση τιμή, διάμεσος τιμή, μέγιστη και ελάχιστη τιμή) Συνθετικής Χρονοσειράς Εισροής μετά από 100 Επαναλήψεις- Μέθοδος PARMA(1,1)- Εναλλακτικό Σενάριο 1 [ $\text{hm}^3$ ]

**Boxplot-timeseries\_PARMA\_method**



Διάγραμμα 22: Θηκόγραμμα Χρονοσειρών μετά από 100 Επαναλήψεις- Μέθοδος PARMA(1,1)- Εναλλακτικό Σενάριο 1 [hm<sup>3</sup>]

Στους δυο παρακάτω πίνακες απεικονίζονται συνοπτικά οι μέσες τιμές των παραπάνω δεδομένων. Την καλύτερη προσέγγιση στην ιστορική χρονοσειρά ως προς τη μέση τιμή παρουσιάζει η συνθετική χρονοσειρά που προέκυψε από τη μέθοδο PARMA(1,1), ενώ η δεύτερη μέθοδος πλησιέστερων k γειτόνων παρουσιάζει μικρότερο εύρος μεταξύ μέγιστης και ελάχιστης τιμής.

ΜΗΝΙΑΙΑ	mean	max	min	MAX-MIN
Q	5.52	26.08	1.26	24.81
ΣΥΝΘΕΤΙΚΗ_Knn	5.36	7.18	3.98	3.21
ΣΥΝΘΕΤΙΚΗ_PARMA(1,1)	5.48	7.40	4.01	3.39

ΕΤΗΣΙΑ	mean	max	min	MAX-MIN
Q	66.23	312.91	15.17	297.74
ΣΥΝΘΕΤΙΚΗ_Knn	64.29	86.21	47.70	38.51
ΣΥΝΘΕΤΙΚΗ_PARMA(1,1)	65.75	88.80	48.17	40.63

Πίνακας 38: Έλεγχος Στατιστικών Τιμών (μέση τιμή, διάμεσος τιμή, μέγιστη και ελάχιστη τιμή) χρονοσειράς Q που προέκυψε από προσομοίωση στο UTHBAL και Συνθετικής Χρονοσειράς μετά από 100 Επαναλήψεις- Μέθοδος Πλησιέστερων k Γειτόνων -Μέθοδος PARMA(1,1), Μηνιαίες και Ετήσιες Τιμές- Εναλλακτικό Σενάριο 1 [hm<sup>3</sup>]

### **Αποτελέσματα Προσομοίωσης Ταμιευτήρα Κάρλας με χρήση Συνθετικών Χρονοσειρών Εισροής**

Ακολούθησε, όπως ακριβώς και στο αρχικό σενάριο, επόμενη προσομοίωση με χρήση των παραπάνω συνθετικών δεδομένων εισροής. Τα αποτελέσματα αποθήκευσης, απόληψης, υπερχειλίσης, εξάτμισης και στάθμης νερού στον ταμιευτήρα, τα οποία προκύπτουν από τις μέσες τιμές των 100 επαναλήψεων για κάθε μήνα, παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα, μαζί με τα αντίστοιχα της αρχικής προσομοίωσης για διευκόλυνση της συσχέτισης, καθώς και με την αντίστοιχη νέα ιστορική χρονοσειρά.

Παρατηρώντας τα παραπάνω αποτελέσματα αποθήκευσης, απόληψης και υπερχειλίσης διαπιστώνουμε πως και οι δυο μέθοδοι (Πλησιέστερων  $k$  Γειτόνων και  $PARMA(1,1)$ ) συνθέτουν χρονοσειρές οι οποίες προσεγγίζουν σε πολύ ικανοποιητικό βαθμό την ιστορική χρονοσειρά, ενώ οδηγούμαστε στην ίδια παρατήρηση με τα προηγούμενα ως προς την καλύτερη προσέγγισης μέσης τιμής από τη μέθοδο  $PARMA(1,1)$  και εύρους μέγιστων-ελάχιστων τιμών από τη μέθοδο πλησιέστερων  $k$  γειτόνων. Σε ότι αφορά στη σύγκριση μεταξύ αρχικού και πρώτου εναλλακτικού σεναρίου, είναι εμφανής η μείωση όλων των μεγεθών στο εναλλακτικό σενάριο. Τα μεγέθη αξιοπιστίας, ελαστικότητας και ευπάθειας του συστήματος τιμές μικρότερες του 1 και στις δυο μεθόδους, όπως και στην προηγούμενη προσομοίωση υποδηλώνοντας αδυναμία κάλυψης των αναγκών της άρδευσης της περιοχής της Κάρλας από τον ταμιευτήρα.



αρχική προσομοίωση					
KNN method					
ΕΤΗΣΙΑ	STORAGE	RELEASE	SPILL	EVAPORATION	WATER_LEVEL
mean	1009.50	35.17	186.91	54.13	28.80
min	1009.41	35.17	166.69	54.13	28.79
max	1009.60	35.17	209.97	54.13	28.80
MAX-MIN	0.19	0.00	43.28	0.00	0.01

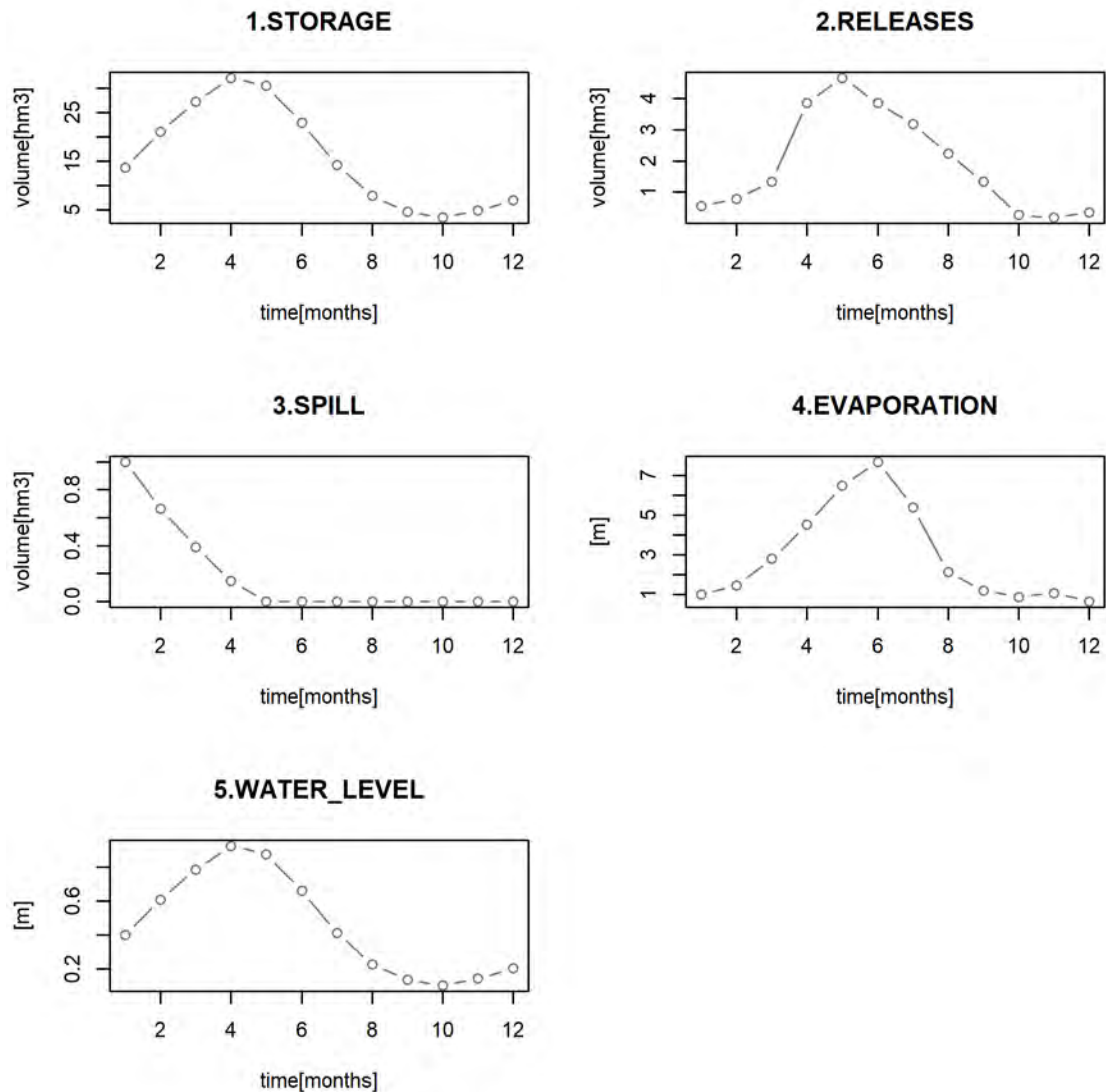
αρχική προσομοίωση					
PARMA method					
ΕΤΗΣΙΑ	STORAGE	RELEASE	SPILL	EVAPORATION	WATER_LEVEL
mean	1009.49	35.17	190.94	54.13	28.79
min	1009.41	35.17	170.35	54.13	28.79
max	1009.58	35.17	218.74	54.13	28.80
MAX-MIN	0.17	0.00	48.39	0.00	0.00

ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΧΡΟΝΣΕΙΡΑ Q RESERVOIR 1ο εναλλακτικό σενάριο					
ΕΤΗΣΙΑ	STORAGE	RELEASE	SPILL	EVAPORATION	WATER_LEVEL
mean	252.35	24.80	5.31	38.01	7.26
min	18.82	7.21	0.00	14.67	0.55
max	858.91	35.17	102.79	60.08	24.54
MAX-MIN	840.09	27.96	102.79	45.40	23.98

1ο εναλλακτικό σενάριο					
KNN method					
ΕΤΗΣΙΑ	STORAGE	RELEASE	SPILL	EVAPORATION	WATER_LEVEL
mean	245.59	25.21	2.42	39.43	7.07
min	154.70	20.83	0.03	32.19	4.47
max	338.95	29.06	9.81	45.00	9.73
MAX-MIN	184.26	8.23	9.78	12.81	5.27

1ο εναλλακτικό σενάριο					
PARMA method					
ΕΤΗΣΙΑ	STORAGE	RELEASE	SPILL	EVAPORATION	WATER_LEVEL
mean	248.13	25.46	3.66	39.35	7.14
min	153.91	21.01	0.08	32.46	4.44
max	372.76	29.85	14.90	46.31	10.70
MAX-MIN	218.85	8.84	14.82	13.85	6.26

Πίνακας 39: Αποτελέσματα Αρχικής Προσομοίωσης , Δεδομένα Ιστορικής Χρονοσειράς Πρώτου Εναλλακτικού Σεναρίου και Αποτελέσματα Προσομοίωσης Πρώτου Εναλλακτικού Σεναρίου Ταμιευτήρα Κάρλας - Μέθοδος Πλησιέστερων k Γειτόνων και PARMA(1,1): Αποθήκευση, Υπερχείλιση, Εκροή, Εξάτμιση και Στάθμη

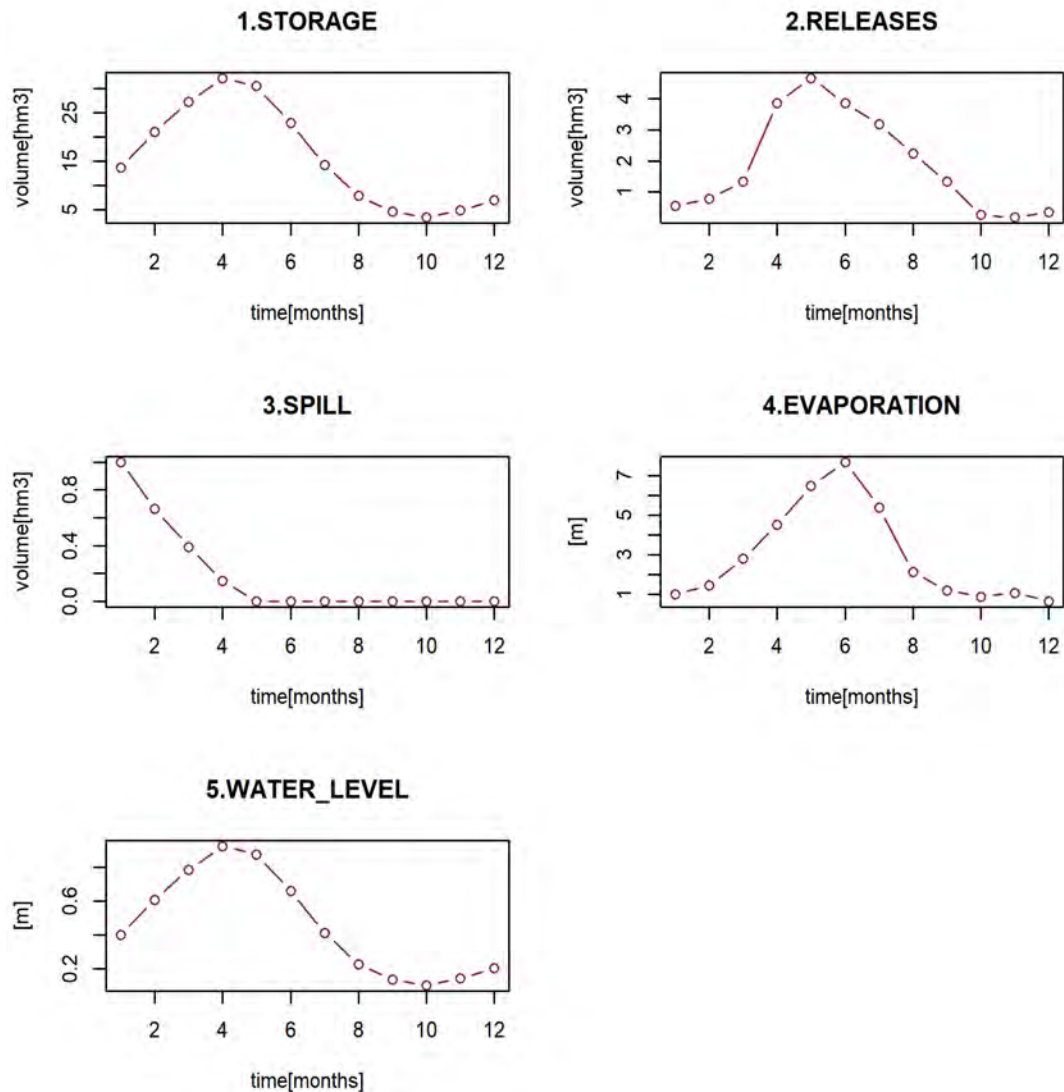


Διάγραμμα 23: Αποτελέσματα Προσομοίωσης Ταμιευτήρα Κάρλας με Χρονοσειρά Εισροής τη Συνθετική Χρονοσειρά (100 επαναλήψεις)- Μέθοδος Πλησιέστερων k Γειτόνων: Αποθήκευση, Υπερχείλιση, Εκροή, Εξάτμιση και Στάθμη- Εναλλακτικό Σενάριο 1

Αξιοπιστία, Ελαστικότητα και Ευπάθεια Συστήματος Προσομοίωσης μετά από 100 επαναλήψεις -Μέθοδος Πλησιέστερων k Γειτόνων

Αξιοπιστία : annual reliability=0.085, time based reliability=0.757, volumetric reliability=0.639

Ελαστικότητα=0.3112, Ευπάθεια =0.901



Διάγραμμα 24: Αποτελέσματα Προσομοίωσης Ταμιευτήρα Κάρλας με Χρονοσειρά Εισροής τη Συνθετική Χρονοσειρά (100 επαναλήψεις)- Μέθοδος PARMA(1,1): Αποθήκευση, Υπερχείλιση, Εκροή, Εξάτμιση και Στάθμη1- Εναλλακτικό Σενάριο 1

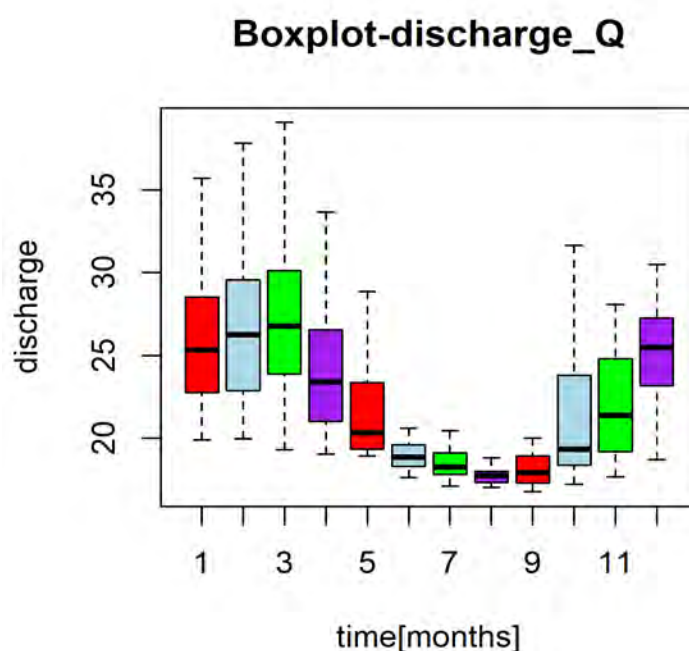
Αξιοπιστία, Ελαστικότητα και Ευπάθεια Συστήματος Προσομοίωσης μετά από 100 επαναλήψεις -Μέθοδος PARMA(1,1)

Αξιοπιστία : annual reliability=0.170, time based reliability=0.074, volumetric reliability=0.656

Ελαστικότητα=0.319, Ευπάθεια =0.891

#### 6.2.4 Κάρλα: ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΟ ΣΕΝΑΡΙΟ 2

Το δεύτερο εναλλακτικό σενάριο που παρουσιάζεται αφορά επίσης μια περίπτωση μειωμένης εισροής στον ταμιευτήρα της Κάρλας για την ίδια περίοδο ετών με την αρχική (έτη 1960-2006) Και σε αυτό το σενάριο χρησιμοποιείται μόνο το πακέτο Reservoir, εξαιτίας της ομοιότητας των αποτελεσμάτων των δυο πακέτων RESERVOIR και WRSS που παρατηρήθηκε στην αρχική προσομοίωση. Εδώ, εξετάζεται η περίπτωση μη άντλησης νερού από τον ποταμό Πηνειό και συνεπώς θεωρείται εισροή ίση με τον όγκο νερού της λεκάνης απορροής της Κάρλας συν την ποσότητα του νερού της βροχόπτωσης που εισέρχεται στον ταμιευτήρα αγνοώντας την ποσότητα που αντλείται από τον ποταμό Πηνειό. Χρησιμοποιώντας αυτή τη χρονοσειρά εισροής, πραγματοποιήθηκε ξανά προσομοίωση του ταμιευτήρα της Κάρλας. Το πρώτο διάγραμμα αποτελεί θηκόγραμμα της δεύτερης εναλλακτικής ιστορικής χρονοσειράς εισροής με βάση τις μέσες τιμές που έχουν προκύψει για κάθε μήνα από το σύνολο των 47 ετών.



Διάγραμμα 25: Θηκόγραμμα Χρονοσειράς Εισροής Q στον Ταμιευτήρα, Προσομοιωμένης από το UTHBAL, κατά τη Χρονική Περίοδο 1960-2006

Στο παραπάνω θηκόγραμμα παρατηρούμε τη φθίνουσα πορεία της νέας εισροής από Μάρτιο έως το Σεπτέμβριο και αύξηση από Οκτώβριο έως Φεβρουάριο, όπως και στην αρχική προσομοίωση αλλά και το προηγούμενο σενάριο, εξαιτίας των καιρικών συνθηκών και των υδατικών αναγκών για άρδευση τους εαρινούς και καλοκαιρινούς μήνες. Η μείωση του όγκου εισροής σε σύγκριση με την αρχική προσομοίωση είναι εμφανής, ενώ σε σχέση με το πρώτο σενάριο παρατηρούμε μικρή αύξηση η οποία υποδηλώνει μεγαλύτερη επίδραση της βροχόπτωσης στη μείωση της εισροής από ότι της άντλησης από τον Πηνειό, η διαφορά τους ωστόσο είναι μικρή. Οι τιμές του διαγράμματος παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

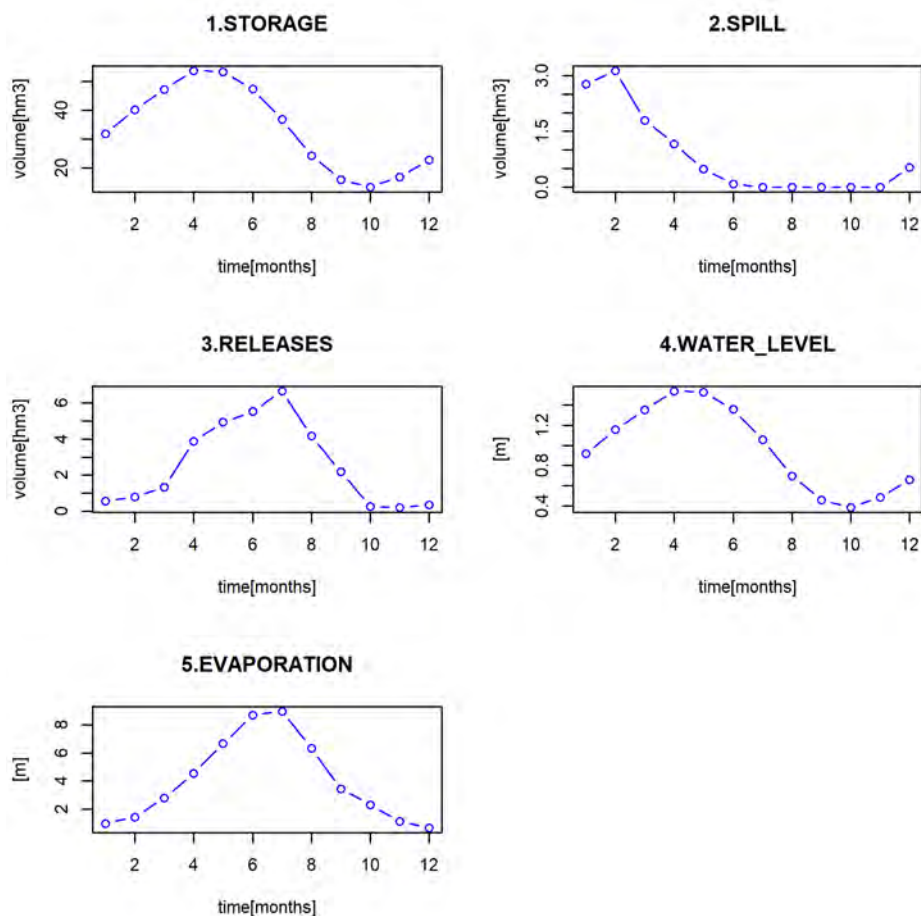
	RESERVOIR RESULTS-1960-2006			
	mean	sd	max	min
Ιανουάριος	12.68	10.35	53.46	3.90
Φεβρουάριος	12.34	7.74	37.29	3.97
Μάρτιος	12.49	6.68	34.34	3.30
Απρίλιος	9.20	6.64	38.77	3.03
Μάιος	6.14	4.97	33.02	2.94
Ιούνιος	3.54	2.82	19.26	1.65
Ιούλιος	2.67	1.44	9.22	1.11
Αύγουστος	1.80	0.58	3.61	1.04
Σεπτέμβριος	3.05	4.03	23.21	0.76
Οκτώβριος	6.10	6.47	30.63	1.22
Νοέμβριος	7.28	5.97	30.86	1.67
Δεκέμβριος	10.65	7.48	48.31	2.72

Πίνακας 40: Στατιστικά Στοιχεία (μέση τιμή, διάμεσος τιμή, μέγιστη και ελάχιστη τιμή) Χρονοσειράς Εισροής Q στον Ταμιευτήρα, Προσομοιωμένης από το UTHRL, κατά τη Χρονική Περίοδο 1960-2006

Αποτελέσματα Αξιοπιστίας, Ελαστικότητας και Ευπάθειας Συστήματος κατά την περίοδο 1960-2006:

Αξιοπιστία : annual reliability=0.553, time based reliability=0.911, volumetric reliability=0.879

Ελαστικότητα=0.42, Ευπάθεια =0.873



Διάγραμμα 26: Αποτελέσματα Προσομοίωσης Ταμιευτήρα Κάρλας κατά την περίοδο 1960-2006: Αποθήκευση, Υπερχείλιση, Εκροή, Στάθμη και Εξάτμιση – Εναλλακτικό Σενάριο 2

ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑ Q RESERVOIR					
ΜΗΝΙΑΙΑ	STORAGE	RELEASE	SPILL	EVAPORATION	WATER_LEVEL
mean	33.67	2.58	0.83	4.00	0.97
min	4.53	1.03	0.00	1.75	0.13
max	75.55	2.93	13.24	5.05	2.16
MAX-MIN	71.02	1.90	13.24	3.30	2.02

ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑ Q RESERVOIR					
ΕΤΗΣΙΑ	STORAGE	RELEASE	SPILL	EVAPORATION	WATER_LEVEL
mean	404.04	30.90	9.96	48.04	11.60
min	54.36	12.35	0.00	21.06	1.59
max	906.57	35.17	158.85	60.60	25.89
MAX-MIN	852.21	22.82	158.85	39.55	24.30

Πίνακας 41: Μηνιαία και Ετήσια Αποτελέσματα Προσομοίωσης Ταμιευτήρα Κάρλας κατά την περίοδο 1960-2006: Αποθήκευση, Υπερχείλιση, Εκροή, Στάθμη και Εξάτμιση-Εναλλακτικό Σενάριο 2 [ $\text{hm}^3$ ]

Τα αποτελέσματα αποθήκευσης, υπερχειλίσης, εκροής, στάθμης νερού και εξάτμισης τα οποία προέκυψαν από τη δεύτερη εναλλακτική προσομοίωση για την περίοδο των 47 ετών, και οι ακριβείς τιμές που χρησιμοποιήθηκαν για την απεικόνισή τους, παρουσιάζονται στο παραπάνω διάγραμμα και στον πίνακα που το ακολουθεί, αντίστοιχα. Τα διαγράμματα που προέκυψαν είναι όμοια με αυτά του πρώτου εναλλακτικού σεναρίου, συνεπώς οι τιμές των μεγεθών είναι κατά πολύ μειωμένες από την αρχική προσομοίωση, όμως λίγο μεγαλύτερες από αυτές του πρώτου σεναρίου. Αναλυτικότερα, η μέση τιμή εξάτμισης υπολογίστηκε στα  $4\text{hm}^3$  αντί των  $3\text{hm}^3$  αρχικής και πρώτης εναλλακτικής προσομοίωσης, η μέση τιμή εκροής προκύπτει ίση με  $2.5\text{hm}^3$  αντί των  $2\text{hm}^3$  της πρώτης εναλλακτικής προσομοίωσης και των  $4\text{hm}^3$  της αρχικής και διαγράμματα των μεγεθών αυτών αποτελούν κοίλες παραβολές που παρουσιάζουν μέγιστες τιμές τους μήνες Ιούνιο και Ιούλιο. Ακόμη, οι μέσες τιμές αποθήκευσης και η στάθμη νερού στον ταμιευτήρα υπολογίστηκαν  $33.67\text{hm}^3$ , και  $0.97\text{hm}^3$  αντίστοιχα, (αντί των  $21\text{hm}^3$  και  $0.6\text{m}$  του πρώτου εναλλακτικού σεναρίου), πολύ μεγάλη μείωση συγκριτικά με την αρχική προσομοίωση που εμφάνισε τις τιμές  $84.12\text{hm}^3$  και  $2.4\text{m}$  αντίστοιχα. Και τα δυο διαγράμματα παρουσιάζουν μείωση από τον Απρίλιο έως τον Οκτώβριο, εξαιτίας των αρδευτικών υδατικών αναγκών. Τέλος, η υπερχειλίση, η οποία παρουσιάζει μέγιστη τιμή τον Φεβρουάριο και σχεδόν μηδενικές τιμές από Απρίλιο έως Οκτώβριο, εμφανίζει μέση τιμή  $0.83\text{hm}^3$  τεράστια μείωση σε σχέση με την αρχική προσομοίωση η οποία εμφάνισε μέση τιμή  $15.89\text{hm}^3$ , ενώ στο πρώτο εναλλακτικό σενάριο υπολογίστηκε μικρότερη και ίση με  $0.44\text{hm}^3$ . Συνεπώς, ο ρόλος της αντλούμενης από τον Πηνειό ποσότητας είναι εξίσου σημαντικός με αυτόν της σε ό,τι αφορά στην υπερχειλίση. Στη συνέχεια, παρουσιάζεται η αξιοπιστία, ελαστικότητα και ευπάθεια του συστήματος, μεγέθη που εμφάνισαν και σε αυτό το σενάριο τιμές μικρότερες του 1. Η αξιοπιστία, λοιπόν του ταμιευτήρα, ως η πιθανότητα παροχής της εκροής που απαιτείται για την ικανοποίηση των υδατικών αναγκών και η οποία κυμαίνεται από 0 έως 1, φαίνεται πως είναι και σε αυτό το σενάριο επίσης χαμηλή, όμως μεγαλύτερη αυτής του πρώτου σεναρίου, υποδηλώνοντας αδυναμία της κάλυψης των υδατικών της άρδευσης στην Κάρλα, εάν εισέλθει στον ταμιευτήρα νερό που έχει αντληθεί από τον Πηνειό. Η αδυναμία αυτή, ωστόσο είναι μεγαλύτερη στο πρώτο σενάριο παράβλεψης της ποσότητας της βροχόπτωσης στον υπολογισμό της εισροής. Η ελαστικότητα και η ευπάθεια, ως ρυθμός επιστροφής σε κατάσταση ισορροπίας η



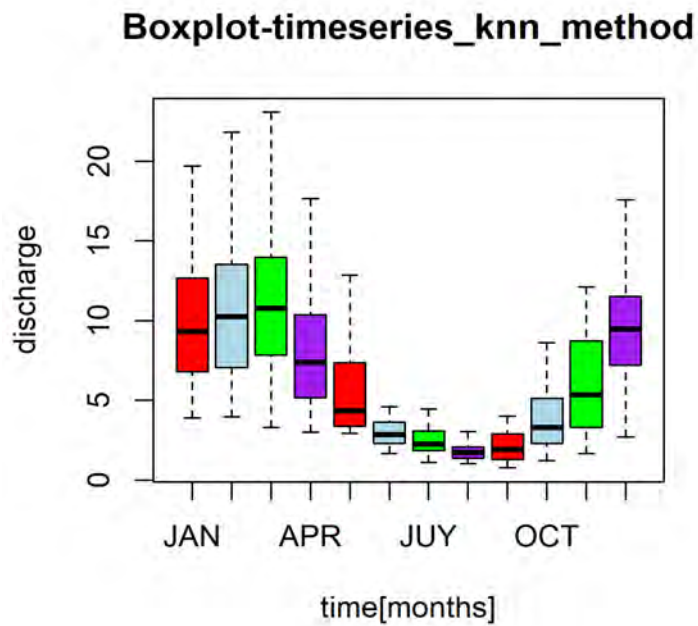
πρώτη και ως μέτρο του εύρους κατώτατης τιμής και τιμών μη ικανοποιητικών τιμών η δεύτερη, παρουσιάζουν επίσης τιμές μικρότερες του 1.

### Συνθετικές Χρονοσειρές

Με τη δεύτερη εναλλακτική χρονοσειρά που θεωρήθηκε, πραγματοποιήθηκε παραγωγή δυο συνθετικών χρονοσειρών μέσω της μεθόδου πλησιέστερων k γειτόνων και PARMA(1,1) μετά από 100 επαναλήψεις. Ακολουθεί η αναπαράσταση των στατιστικών στοιχείων μέσης τιμής, διαμέσου τιμής, μέγιστης και ελάχιστης τιμής που προέκυψαν, με τα μεγέθη να έχουν υπολογιστεί με βάση τις 100 μέσες τιμές που προέκυψαν από τις 100 συνθετικές χρονοσειρές για κάθε μήνα. Στο θηκόγραμμα κάθε μεθόδου απεικονίζονται οι μέσες, μέγιστες και ελάχιστες τιμές που υπολογίστηκαν για κάθε μήνα.

	KNN method			
	mean	sd	max	min
Ιανουάριος	13.00	1.48	16.46	10.22
Φεβρουάριος	12.14	0.95	14.76	10.33
Μάρτιος	12.38	0.95	14.66	10.35
Απρίλιος	8.98	0.90	11.21	6.77
Μάιος	5.89	0.64	7.42	4.26
Ιούνιος	3.36	0.27	4.16	2.84
Ιούλιος	2.71	0.21	3.25	2.33
Αύγουστος	1.80	0.08	2.04	1.59
Σεπτέμβριος	2.86	0.57	4.27	1.65
Οκτώβριος	5.28	0.69	6.84	3.87
Νοέμβριος	6.57	0.66	7.99	5.47
Δεκέμβριος	9.97	0.75	12.00	8.29

Πίνακας 42: Στατιστικά Στοιχεία (μέση τιμή, διάμεσος τιμή, μέγιστη και ελάχιστη τιμή) Συνθετικής Χρονοσειράς Εισροής μετά από 100 Επαναλήψεις- Μέθοδος Πλησιέστερων k Γειτόνων-Εναλλακτικό Σενάριο 2 [hm<sup>3</sup>]

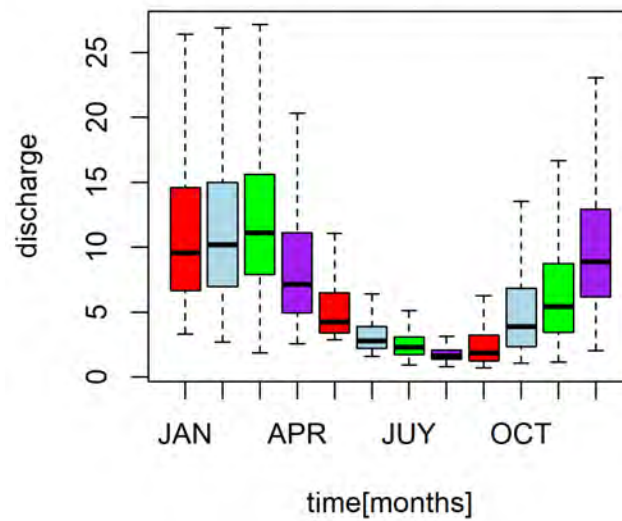


Διάγραμμα 27: Θηκόγραμμα Χρονοσειρών μετά από 100 Επαναλήψεις- Μέθοδος Πλησιέστερων k Γειτόνων-Εναλλακτικό Σενάριο 2 [ $\text{hm}^3$ ]

	PARMA method			
	mean	sd	max	min
Ιανουάριος	12.45	1.35	16.11	9.61
Φεβρουάριος	12.40	1.20	16.41	9.94
Μάρτιος	12.58	0.85	14.68	10.45
Απρίλιος	9.34	1.05	12.17	6.77
Μάιος	6.45	1.04	9.51	4.16
Ιούνιος	3.48	0.36	4.55	2.87
Ιούλιος	2.65	0.19	3.08	2.25
Αύγουστος	1.80	0.09	1.99	1.60
Σεπτέμβριος	2.91	0.48	4.42	2.01
Οκτώβριος	6.18	1.03	9.27	3.88
Νοέμβριος	7.30	0.95	10.09	5.58
Δεκέμβριος	10.65	1.02	13.39	8.53

Πίνακας 43: Στατιστικά Στοιχεία (μέση τιμή, διάμεσος τιμή, μέγιστη και ελάχιστη τιμή) Συνθετικής Χρονοσειράς Εισροής μετά από 100 Επαναλήψεις- Μέθοδος PARMA(1,1) -Εναλλακτικό Σενάριο 2 [ $\text{hm}^3$ ]

**Boxplot-timeseries\_PARMA\_method**



Διάγραμμα 28: Θηκόγραμμα Χρονοσειρών μετά από 100 Επαναλήψεις- Μέθοδος PARMA(1,1) -Εναλλακτικό Σενάριο 2 [ $\text{hm}^3$ ]

Στους δυο παρακάτω πίνακες απεικονίζονται συνοψίζονται τα παραπάνω δεδομένα, μέσω της παρουσίασης των μέσων τιμών που υπολογίστηκαν. Τα αποτελέσματα οδηγούν στο ίδιο συμπέρασμα με το πρώτο σενάριο, πως η καλύτερη προσέγγιση στην ιστορική χρονοσειρά ως προς τη μέση τιμή επιτυγχάνεται μέσω της μεθόδου PARMA(1,1), ενώ ως προς τη διαφορά μέγιστης και ελάχιστης τιμής, μέσω της μεθόδου πλησιέστερων k γειτόνων.

ΜΗΝΙΑΙΑ	mean	max	min	MAX-MIN
Q	7.33	30.17	2.28	27.89
ΣΥΝΘΕΤΙΚΗ_Knn	7.08	8.76	5.67	3.09
ΣΥΝΘΕΤΙΚΗ_PARMA(1,1)	7.35	9.64	5.64	4.00

ΕΤΗΣΙΑ	mean	max	min	MAX-MIN
Q	87.94	361.99	27.31	334.68
ΣΥΝΘΕΤΙΚΗ_Knn	84.93	105.06	67.98	37.08
ΣΥΝΘΕΤΙΚΗ_PARMA(1,1)	88.20	115.66	67.66	48.00

Πίνακας 44: Έλεγχος Στατιστικών Τιμών (μέση τιμή, διάμεσος τιμή, μέγιστη και ελάχιστη τιμή) χρονοσειράς Q που προέκυψε από προσομοίωση στο UTHBAL και Συνθετικής Χρονοσειράς μετά από 100 Επαναλήψεις- Μέθοδος Πλησιέστερων k Γειτόνων -Μέθοδος PARMA(1,1), Μηνιαίες και Ετήσιες Τιμές-Εναλλακτικό Σενάριο 2 [ $\text{hm}^3$ ]

## Αποτελέσματα Προσομοίωσης Ταμιευτήρα Κάρλας με χρήση Συνθετικών Χρονοσειρών Εισροής

Η επόμενη προσομοίωση που πραγματοποιήθηκε, περιέχει ως εισροή τα παραπάνω συνθετικά δεδομένα, ομοίως με το προηγούμενο σενάριο. Τα αποτελέσματα αποθήκευσης, απόληξης, υπερχειλίσσης, εξάτμισης και στάθμης νερού στον ταμιευτήρα, τα οποία προκύπτουν από τις μέσες τιμές των 100 επαναλήψεων για κάθε μήνα, παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα, συγκριτικά με τα αντίστοιχα της αρχικής προσομοίωσης και με την αντίστοιχη νέα ιστορική χρονοσειρά.

αρχική προσομοίωση					
PARMA method					
ΕΤΗΣΙΑ	STORAGE	RELEASE	SPILL	EVAPORATION	WATER_LEVEL
mean	1009.49	35.17	190.94	54.13	28.79
min	1009.41	35.17	170.35	54.13	28.79
max	1009.58	35.17	218.74	54.13	28.80
MAX-MIN	0.17	0.00	48.39	0.00	0.00

αρχική προσομοίωση					
KNN method					
ΕΤΗΣΙΑ	STORAGE	RELEASE	SPILL	EVAPORATION	WATER_LEVEL
mean	1009.50	35.17	186.91	54.13	28.80
min	1009.41	35.17	166.69	54.13	28.79
max	1009.60	35.17	209.97	54.13	28.80
MAX-MIN	0.19	0.00	43.28	0.00	0.01

ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑ Q RESERVOIR 2ο εναλλακτικό σενάριο					
ΕΤΗΣΙΑ	STORAGE	RELEASE	SPILL	EVAPORATION	WATER_LEVEL
mean	404.04	30.90	9.96	48.04	11.60
min	54.36	12.35	0.00	21.06	1.59
max	906.57	35.17	158.85	60.60	25.89
MAX-MIN	852.21	22.82	158.85	39.55	24.30

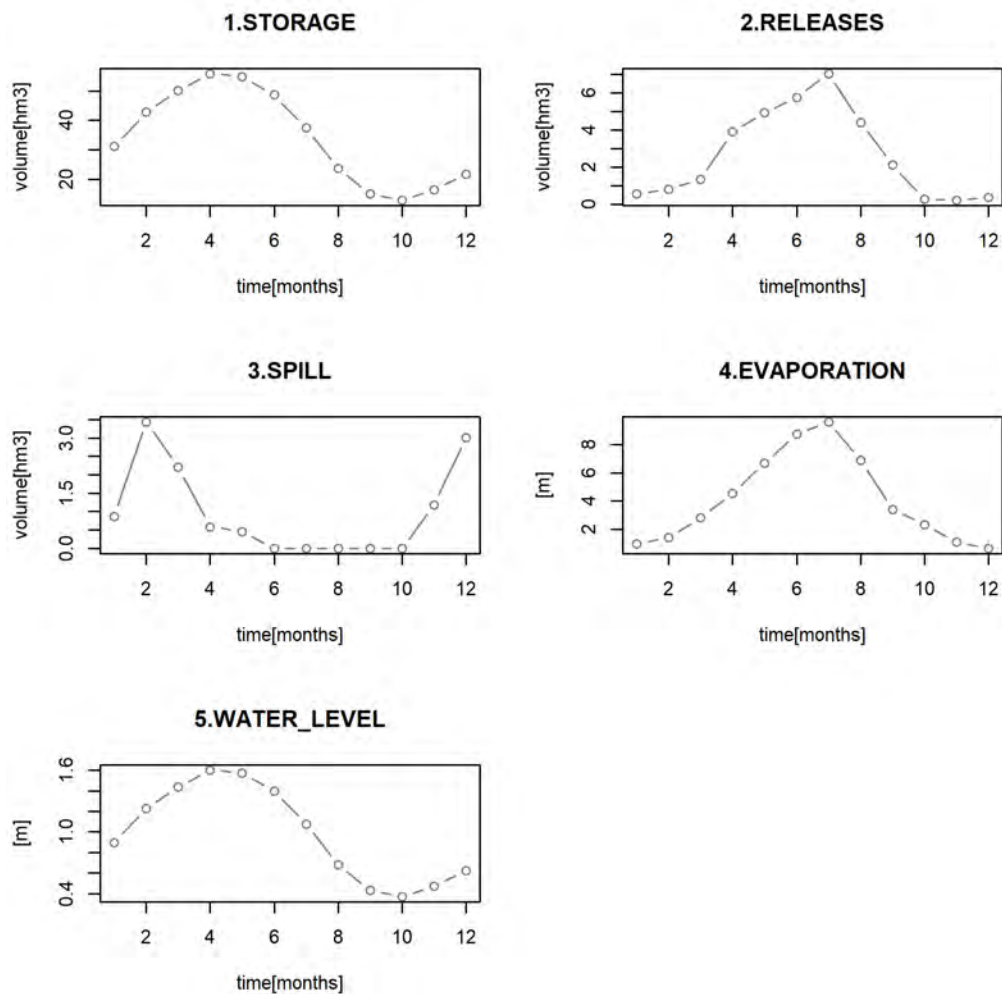
2ο εναλλακτικό σενάριο					
PARMA method					
ΕΤΗΣΙΑ	STORAGE	RELEASE	SPILL	EVAPORATION	WATER_LEVEL
mean	431.33	31.97	8.71	49.15	12.38
min	308.02	28.60	0.81	44.13	8.86
max	580.64	34.50	26.88	53.03	16.63
MAX-MIN	272.62	5.90	26.06	8.90	7.77

2ο εναλλακτικό σενάριο					
KNN method					
ΕΤΗΣΙΑ	STORAGE	RELEASE	SPILL	EVAPORATION	WATER_LEVEL
mean	401.45	31.61	6.35	48.77	11.53
min	297.40	28.85	0.88	44.60	8.56
max	499.36	33.75	20.83	51.89	14.32
MAX-MIN	201.96	4.90	19.95	7.29	5.76

Πίνακας 45: Αποτελέσματα Αρχικής Προσομοίωσης, Δεδομένα Ιστορικής Χρονοσειράς Δεύτερου Εναλλακτικού Σεναρίου και Αποτελέσματα Προσομοίωσης Δεύτερου Εναλλακτικού Σεναρίου Ταμιευτήρα Κάρλας - Μέθοδος Πλησιέστερων k Γειτόνων και PARMA(1,1): Αποθήκευση, Υπερχειλίσση, Εκροή, Εξάτμιση και Στάθμη

Παρατηρώντας τους παραπάνω πίνακες αποθήκευσης, απόληψης και υπερχειλίσης διαπιστώνουμε πως και οι δυο μέθοδοι συνθέτουν χρονοσειρές με πολύ καλή προσέγγιση στην ιστορική χρονοσειρά, εδώ όμως η μέθοδος πλησιέστερων  $k$  γειτόνων οδήγησε στη χρονοσειρά με την καλύτερη προσέγγιση σε όλα τα μεγέθη που αφορούν στον όγκο νερού στον ταμιευτήρα. Οι τιμές είναι αυξημένες σε σχέση με το πρώτο εναλλακτικό σενάριο, ενώ σε με την αρχική προσομοίωση, παρατηρούμε πού μεγάλη μείωση στην αποθήκευση, υπερχειλίση και στάθμη νερού, και μικρότερη μείωση στην εξάτμιση και εκροή. Τα μεγέθη αξιοπιστίας, ελαστικότητας και ευπάθειας του συστήματος εμφανίζουν και σε αυτή την προσομοίωση τιμές μικρότερες του 1 και στις δυο μεθόδους, υποδηλώνοντας αδυναμία κάλυψης των αναγκών της άρδευσης της περιοχής της Κάρλας από τον ταμιευτήρα, με μεγαλύτερες τιμές αποτελεσμάτων, ωστόσο, από ότι στο πρώτο εναλλακτικό σενάριο.

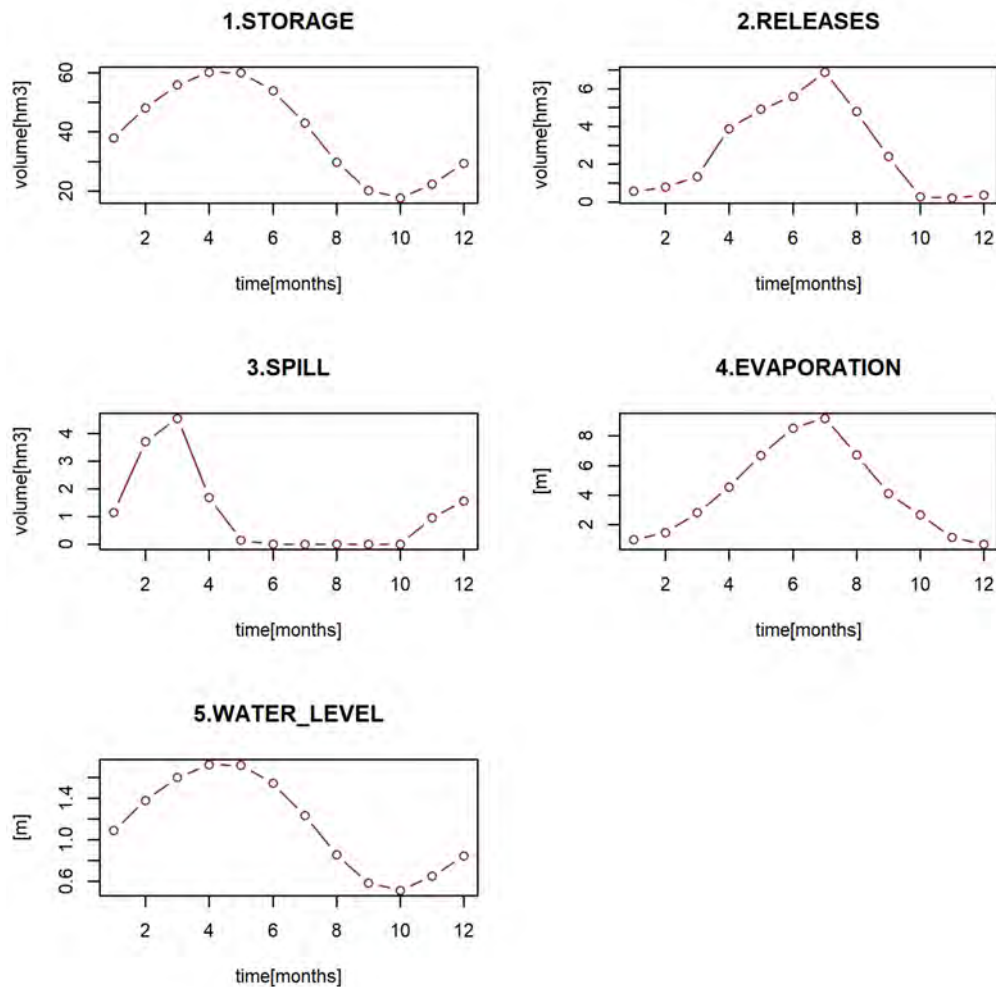


Διάγραμμα 29: Αποτελέσματα Προσομοίωσης Ταμιευτήρα Κάρλας με Χρονοσειρά Εισροής τη Συνθετική Χρονοσειρά (100 επαναλήψεις)- Μέθοδος Πλησιέστερων k Γειτόνων: Αποθήκευση, Υπερχείλιση, Εκροή, Εξάτμιση και Στάθμη-Εναλλακτικό Σενάριο 2

Αξιοπιστία, Ελαστικότητα και Ευπάθεια Συστήματος Προσομοίωσης μετά από 100 επαναλήψεις -Μέθοδος Πλησιέστερων k Γειτόνων

Αξιοπιστία : annual reliability=0.489, time based reliability=0.913, volumetric reliability=0.836

Ελαστικότητα=0.571, Ευπάθεια =0.821



Διάγραμμα 30: Αποτελέσματα Προσομοίωσης Ταμιευτήρα Κάρλας με Χρονοσειρά Εισροής τη Συνθετική Χρονοσειρά (100 επαναλήψεις)- Μέθοδος PARMA(1,1): Αποθήκευση, Υπερχείλιση, Εκροή, Εξάτμιση και Στάθμη-Εναλλακτικό Σενάριο 2

Αξιοπιστία, Ελαστικότητα και Ευπάθεια Συστήματος Προσομοίωσης μετά από 100 επαναλήψεις -Μέθοδος PARMA(1,1)

Αξιοπιστία : annual reliability=0.489, time based reliability=0.899, volumetric reliability=0.873

Ελαστικότητα=0.439, Ευπάθεια =0.798

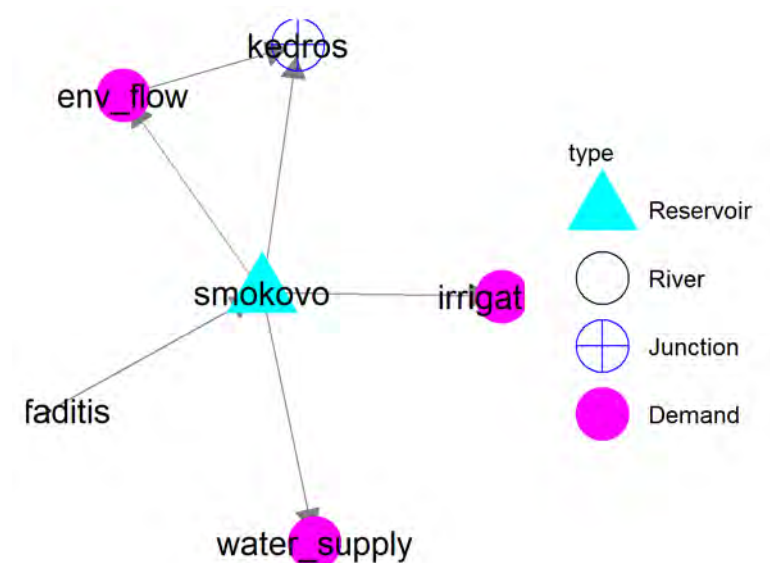


## 6.3 Σμόκοβο

### 6.3.1 WRSS

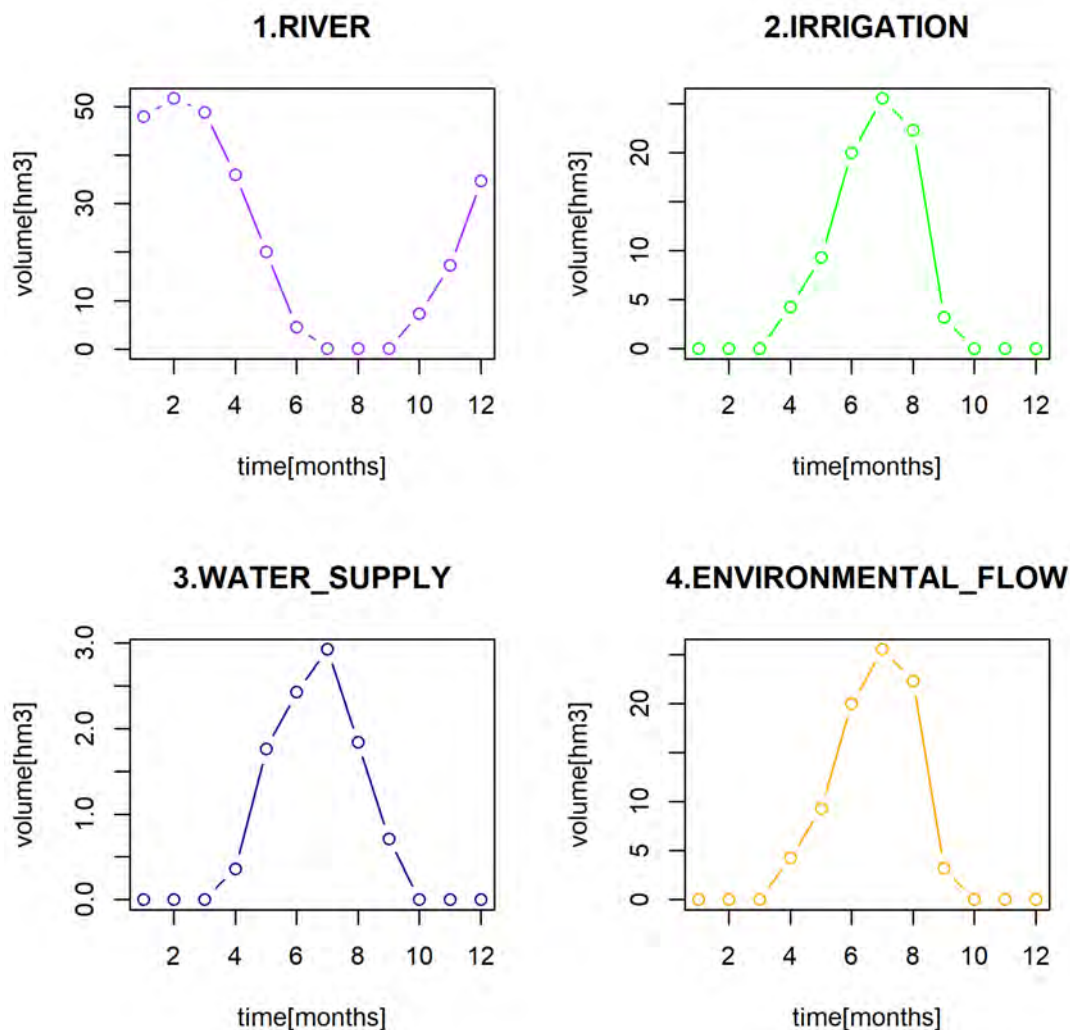
#### Προσομοίωση Ταμιευτήρα Σμοκόβου για τα έτη 1968-1994

Η περιοχή του ταμιευτήρα της Σμοκόβου περιλαμβάνει τον ποταμό Σοφαδίτη, ο οποίος τροφοδοτεί τον ταμιευτήρα του Σμοκόβου για την κάλυψη των ζητήσεων της ύδρευσης, της άρδευσης και της οικολογικής παροχής, όπως σχηματοποιείται στο παρακάτω σύστημα.



Σχήμα 12: Σχηματοποίηση Περιοχής Σμοκόβου

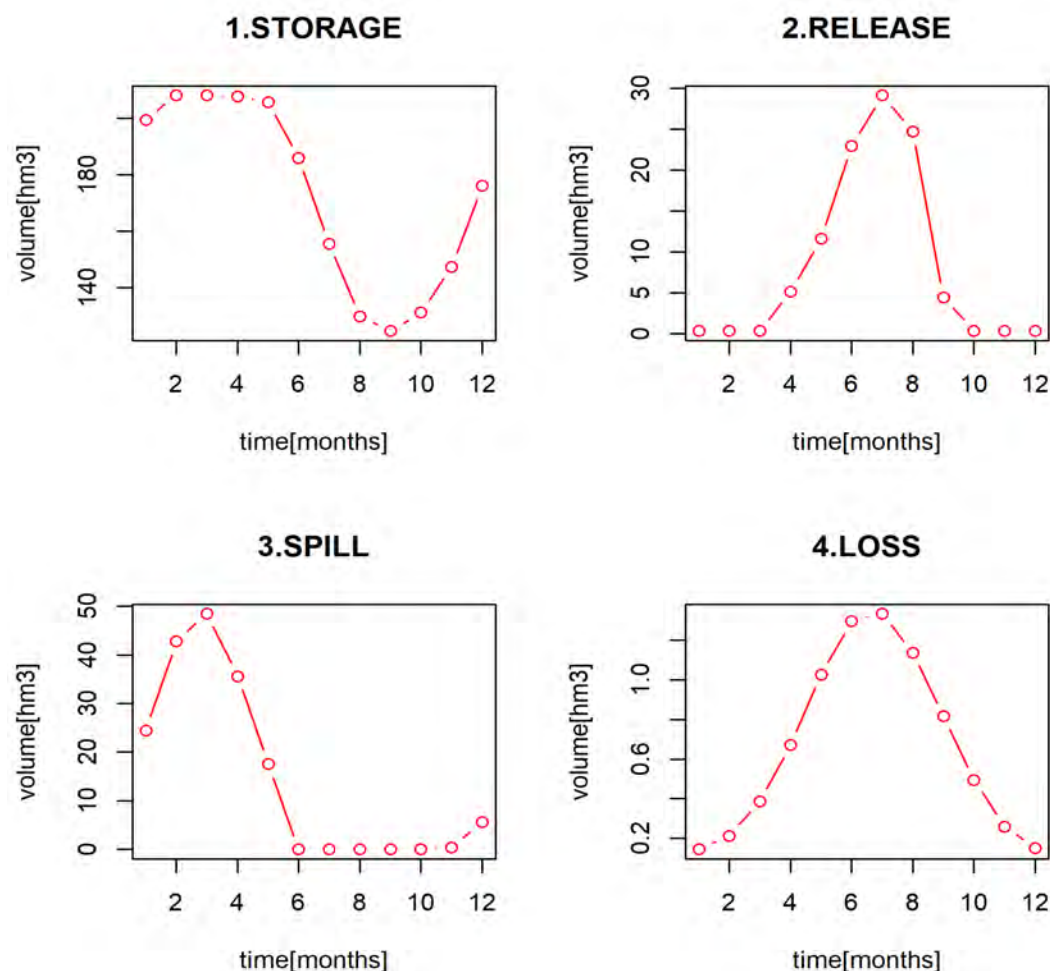
Παρακάτω, παρουσιάζεται η κατανομή της εκροής του ποταμού μέσω των μέσων μηνιαίων τιμών της περιόδου 1968-1994, με μείωση της εκροής από τον Φεβρουάριο έως τους μήνες Σεπτέμβριο και Οκτώβριο από όπου θα ξεκινήσει και πάλι η ανοδική πορεία πλήρωσης του ποταμού από τις βροχοπτώσεις και τις μειωμένες ζητήσεις. Η παρουσίαση των διαγραμμάτων των τελευταίων, έπεται της εκροής, με πρώτο το διάγραμμα της άρδευσης η οποία συντελείται τους μήνες Απρίλιο έως Σεπτέμβριο. Το επόμενο διάγραμμα αναπαριστά τις ανάγκες για ύδρευση, οι οποίες αφενός εμφανίζονται αυξημένες τους θερινούς μήνες, αφετέρου κυμαίνονται στο στενό διάστημα των  $0.33-0.619 \text{ hm}^3$ . Τέλος η περιβαλλοντική παροχή εξισορρόπησης των μεταβολών της υδρολογικής ροής, παρουσιάζεται στους μήνες Απρίλιο μέχρι Σεπτέμβριο, με κοίλη παραβολική μορφή, όπως αυτή της άρδευσης, και μέγιστο τον Ιούλιο.



Διάγραμμα 31: Διαγράμματα Εκροής του Ποταμού Σοφαδίτη στον Ταμιευτήρα και Εισροής στις Επιμέρους Ζητήσεις του Ταμιευτήρα Σμοκόβου για τα έτη (1968-1994): Ύδρευση, Άρδευση και Οικολογική Παροχή-[hm<sup>3</sup>]

Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα αποθήκευσης, εκροής, υπερχειλίσης και απωλειών της προσομοίωσης WRSS, για τον ταμιευτήρα Σμοκόβου με βάση τις μέσες μηνιαίες τιμές για τα έτη 1968-1994. Η αποθήκευση εδώ παρουσιάζει μεγάλη διακύμανση μεταξύ 124hm<sup>3</sup> και 208 hm<sup>3</sup>. Το μέγιστο παρατηρείται τους μήνες Φεβρουάριο, Μάρτιο και Απρίλιο, ακολουθεί μείωση έως το ελάχιστο του Σεπτεμβρίου και στη συνέχεια αύξουσα πορεία της καμπύλης. Η εκροή του ταμιευτήρα, αντιπροσωπευτική της αθροιστικής ζήτησης, σχηματίζει μια κοίλη παραβολική καμπύλη εξαιτίας και της σταθερότητας και μικρής ζήτησης της ύδρευσης, ακολουθεί την πορεία των δυο ζητήσεων άρδευσης και οικολογικής παροχής, οι οποίες λαμβάνουν χώρα κυρίως μεταξύ Απριλίου και Σεπτεμβρίου. Στο

επόμενο διάγραμμα παρατηρούμε μηδενικές τιμές υπερχείλισης από Ιούνιο ως Σεπτέμβριο, αύξηση από Δεκέμβριο έως Μάρτιο στα  $48.49 \text{ hm}^3$  και στη συνέχεια μείωση έως τις μηδενικές τιμές του Σεπτεμβρίου. Στο διάγραμμα παρατηρούμε μικρό εύρος απωλειών μεταξύ  $0 \text{ hm}^3$  και  $1 \text{ hm}^3$ , με αύξουσα καμπύλη από Ιανουάριο έως Ιούλιο και ακόλουθη φθίνουσα πορεία. Οι μέσες μηνιαίες τιμές συγκεντρώνονται στον επόμενο πίνακα και το τελικό διάγραμμα αποτελεί συγκεντρωτική απεικόνιση του υδατικού ισοζυγίου.



Διάγραμμα 32: Αποτελέσματα Προσομοίωσης Ταμιευτήρα Σμοκόβου για τα έτη (1968-1994): Αποθήκευση, Εκροή, Υπερχείλιση και Απώλειες- $[\text{hm}^3]$

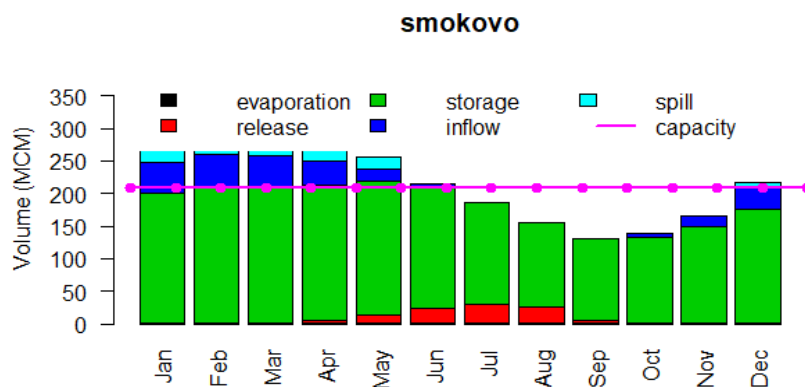
MEAN VALUES						
	STORAGE	SPILL	LOSS	RELEASE	SEEPAGE	POWER
Ιανουάριος	199.48	24.46	0.14	0.33	0.00	0.00
Φεβρουάριος	208.22	42.79	0.21	0.33	0.00	0.00
Μάρτιος	208.22	48.49	0.39	0.33	0.00	0.00
Απρίλιος	207.74	35.60	0.67	5.11	0.00	0.00
Μάιος	205.74	17.55	1.03	11.59	0.00	0.00
Ιούνιος	186.05	0.00	1.30	22.93	0.00	0.00
Ιούλιος	155.69	0.00	1.33	29.13	0.00	0.00
Αύγουστος	129.91	0.00	1.14	24.71	0.00	0.00
Σεπτέμβριος	124.76	0.00	0.82	4.44	0.00	0.00
Οκτώβριος	131.26	0.00	0.49	0.33	0.00	0.00
Νοέμβριος	147.53	0.41	0.26	0.33	0.00	0.00
Δεκέμβριος	176.18	5.58	0.15	0.33	0.00	0.00

Πίνακας 46: Αποτελέσματα Ταμιευτήρα Σμοκόβου-Αποθήκευση, Υπερχείλιση, Εκροή, Απώλειες, Διήθηση και Παραγωγή Ενέργειας-[hm<sup>3</sup>]

ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΧΡΟΝΣΕΙΡΑ Q WRSS						
ΜΗΝΙΑΙΑ	STORAGE	RELEASE	SPILL	LOSS	SEEPAGE	POWER
mean	173.40	8.32	14.57	0.66	0.00	0.00
min	139.68	8.32	0.00	0.50	0.00	0.00
max	190.34	8.32	43.31	0.80	0.00	0.00
MAX-MIN	50.66	0.00	43.31	0.30	0.00	0.00

ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΧΡΟΝΣΕΙΡΑ Q WRSS						
ΕΤΗΣΙΑ	STORAGE	RELEASE	SPILL	LOSS	SEEPAGE	POWER
mean	2080.77	99.90	174.87	7.93	0.00	0.00
min	1676.20	99.90	0.00	6.03	0.00	0.00
max	2284.10	99.90	519.76	9.62	0.00	0.00
MAX-MIN	607.90	0.00	519.76	3.59	0.00	0.00

Πίνακας 47: Μηνιαίες και Ετήσιες Τιμές Μεγεθών Ταμιευτήρα Σμοκόβου-Αποθήκευση, Υπερχείλιση, Εκροή, Απώλειες, Διήθηση και Παραγωγή Ενέργειας-[hm<sup>3</sup>]

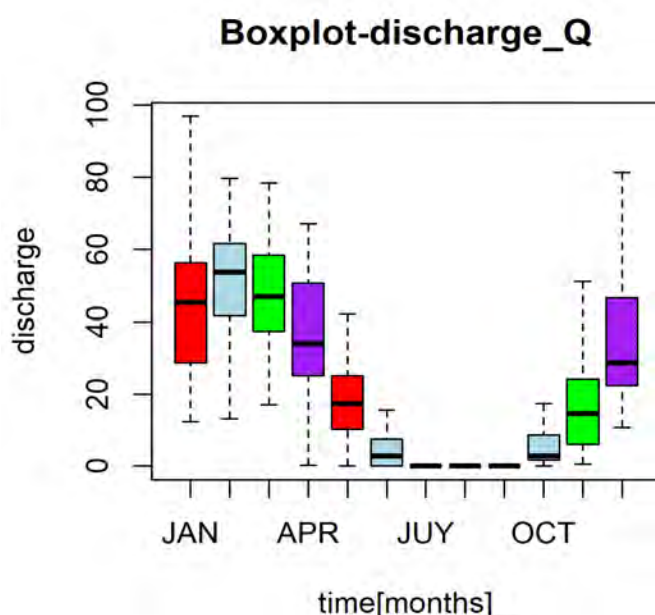


Σχήμα 13: Διάγραμμα Υδατικού Ισοζυγίου Σμοκόβου

### 6.3.2 RESERVOIR

#### Προσομοίωση Ταμιευτήρα Σμοκόβου για τα έτη 1968-1994

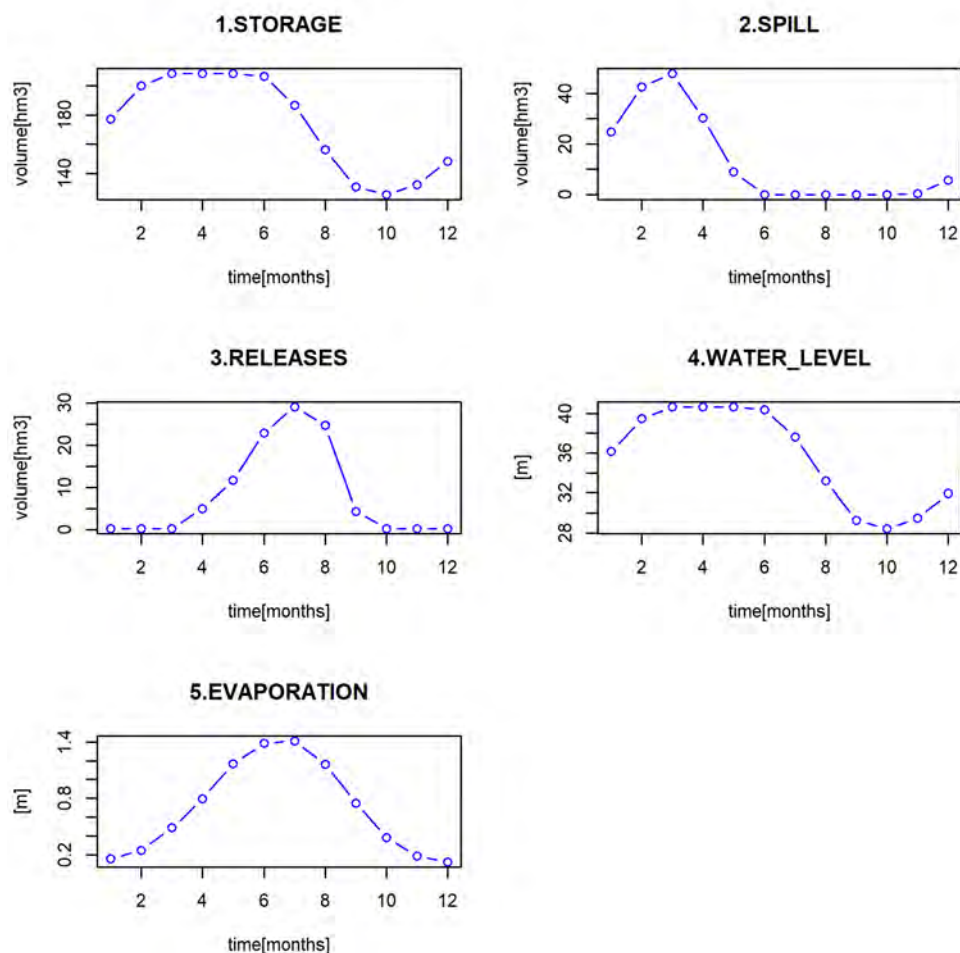
Αρχικά, παρουσιάζεται το θηκόγραμμα της ιστορικής χρονοσειράς εισροής στον ταμιευτήρα του Σμοκόβου με βάση τις μέσες τιμές που έχουν προκύψει για κάθε μήνα από το σύνολο των 27 ετών. Παρατηρούμε μείωση της εισροής τους καλοκαιρινούς μήνες, όπως ακριβώς παρουσιάστηκε στο πρώτο πακέτο WRSS, εξαιτίας της άρδευσης. Την πορεία αυτή ακολουθεί και το εύρος μέγιστων και ελάχιστων τιμών, το οποίο είναι μεγαλύτερο τους μήνες Δεκέμβριο και Ιανουάριο ενώ στη συνέχεια φθίνει έως τον Οκτώβριο και στη συνέχεια αυξάνει και πάλι έως το Δεκέμβριο.



Διάγραμμα 33: Θηκόγραμμα Ιστορικής Χρονοσειράς Εισροής Q στον Ταμιευτήρα κατά τη Χρονική Περίοδο 1968-1994- $[\text{hm}^3]$

	Q			
	mean	sd	max	min
Ιανουάριος	48.03	28.20	120.00	12.40
Φεβρουάριος	51.76	19.44	94.30	13.10
Μάρτιος	48.88	24.50	113.90	5.10
Απρίλιος	35.98	18.35	67.00	0.20
Μάιος	20.01	12.69	54.50	0.00
Ιούνιος	4.54	5.19	15.50	0.00
Ιούλιος	0.11	0.29	1.30	0.00
Αύγουστος	0.07	0.24	1.00	0.00
Σεπτέμβριος	0.11	0.28	1.00	0.00
Οκτώβριος	7.33	11.53	56.20	0.10
Νοέμβριος	17.25	13.45	51.00	0.60
Δεκέμβριος	34.66	18.37	81.30	10.70

Πίνακας 48: Στατιστικά Στοιχεία (μέση τιμή, διάμεσος τιμή, μέγιστη και ελάχιστη τιμή) Ιστορικής Χρονοσειράς Εισροής Q στον Ταμιευτήρα κατά τη Χρονική Περίοδο 1968-1994- $[\text{hm}^3]$



Διάγραμμα 34: Αποτελέσματα Προσομοίωσης Ταμιευτήρα Σμοκόβου κατά την περίοδο 1968-1994: Αποθήκευση, Υπερχείλιση, Εκροή, Στάθμη και Εξάτμιση- $[\text{hm}^3]$

ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑ Q RESERVOIR					
ΜΗΝΙΑΙΑ	STORAGE	RELEASE	SPILL	EVAPORATION	WATER_LEVEL
mean	174.10	8.32	13.38	0.69	35.66
min	140.22	8.32	0.00	0.54	30.49
max	190.89	8.32	41.80	0.85	38.13
MAX-MIN	50.68	0.00	41.80	0.31	7.64

ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑ Q RESERVOIR					
ΕΤΗΣΙΑ	STORAGE	RELEASE	SPILL	EVAPORATION	WATER_LEVEL
mean	2089.20	99.90	160.57	8.25	427.88
min	1682.60	99.90	0.00	6.54	365.86
max	2290.72	99.90	501.65	10.20	457.55
MAX-MIN	608.12	0.00	501.65	3.66	91.69

Πίνακας 49: Μηνιαία και Ετήσια Αποτελέσματα Προσομοίωσης Ταμιευτήρα Σμοκόβου κατά την περίοδο 1968-1994: Αποθήκευση, Υπερχείλιση, Εκροή, Στάθμη και Εξάτμιση-[hm<sup>3</sup>]

Αποτελέσματα Αξιοπιστίας, Ελαστικότητας και Ευπάθειας Συστήματος κατά την περίοδο 1968-1994:

$$\text{Αξιοπιστία}=1, \text{Ελαστικότητα} = \text{Ευπάθεια} = \text{NA}$$

Στο παραπάνω διάγραμμα δίνεται η δυνατότητα παρατήρησης και συσχέτισης των παραμέτρων διακύμανσης του όγκου του νερού στον ταμιευτήρα για την προσομοίωση της αρχικής περιόδου των 27 ετών. Συγκεκριμένα, τόσο η αποθήκευση όσο και η στάθμη του νερού παρουσιάζουν μείωση τους μήνες Ιούλιο με Οκτώβριο λόγω της αυξημένης απόληψης και εξάτμισης. Παρόμοια πορεία ακολουθεί και η υπερχειλίση, όμως εδώ η μείωση ξεκινά νωρίτερα, από το μήνα Απρίλιο, και από τον Ιούνιο έως το Δεκέμβριο είναι σχεδόν μηδενική ενώ αυξάνεται απότομα από τον Ιανουάριο έως το Μάρτιο. Η αξιοπιστία που προκύπτει ισούται με ένα καθώς η εισροή στον ταμιευτήρα από τον ποταμό Σοφαδίτη αρκεί για την κάλυψη των ζητήσεων. Αυτό δικαιολογεί και το αποτέλεσμα της ελαστικότητας και ευπάθειας του συστήματος οι οποίες δεν ορίζονται.

### Συνθετικές Χρονοσειρές

Ακολουθεί η παρουσίαση των στατιστικών στοιχείων μέσης τιμής, διαμέσου τιμής, μέγιστης και ελάχιστης τιμής που προέκυψαν από την παραγωγή δυο συνθετικών χρονοσειρών μέσω της μεθόδου πλησιέστερων k γειτόνων και PARMA(1,1) μετά από 100 επαναλήψεις. Τα μεγέθη αυτά έχουν υπολογιστεί με βάση τις 100 μέσες τιμές

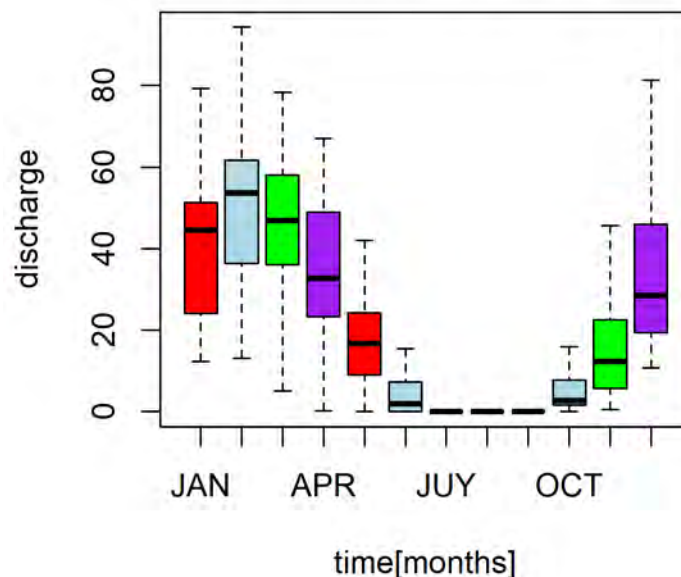


που προέκυψαν από τις 100 συνθετικές χρονοσειρές για κάθε μήνα. Κάτω από τον πίνακα της κάθε μεθόδου, παρουσιάζεται το αντίστοιχο θηκόγραμμα όπου απεικονίζονται οι μέσες, μέγιστες και ελάχιστες τιμές κάθε μήνα.

	KNN method			
	mean	sd	max	min
Ιανουάριος	46.25	5.84	63.62	34.78
Φεβρουάριος	51.15	4.38	61.86	42.58
Μάρτιος	47.75	4.74	58.84	35.37
Απρίλιος	35.88	3.97	46.63	27.71
Μάιος	19.85	2.25	27.30	15.25
Ιούνιος	4.61	0.94	7.23	2.66
Ιούλιος	0.12	0.05	0.25	0.02
Αύγουστος	0.07	0.05	0.20	0.00
Σεπτέμβριος	0.10	0.05	0.23	0.01
Οκτώβριος	7.11	2.03	12.99	2.61
Νοέμβριος	16.75	2.54	23.06	10.12
Δεκέμβριος	33.13	3.94	45.04	26.63

Πίνακας 50: Στατιστικά Στοιχεία (μέση τιμή, διάμεσος τιμή, μέγιστη και ελάχιστη τιμή) Συνθετικής Χρονοσειράς Εισροής μετά από 100 Επαναλήψεις- Μέθοδος Πλησιέστερων k Γειτόνων-[hm<sup>3</sup>]

**Boxplot-timeseries\_knn\_method**

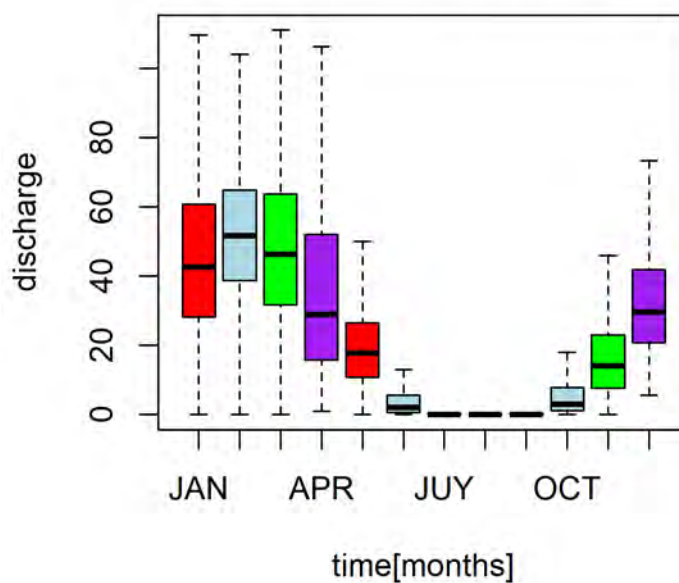


Διάγραμμα 35: Θηκόγραμμα Συνθετικής Χρονοσειράς που προέκυψε από 100 Επαναλήψεις- Μέθοδος Πλησιέστερων k Γειτόνων-[hm<sup>3</sup>]

	PARMA method			
	mean	sd	max	min
Ιανουάριος	47.22	4.69	58.84	38.40
Φεβρουάριος	51.54	3.53	59.51	42.57
Μάρτιος	48.88	4.92	62.24	36.31
Απρίλιος	40.04	6.68	55.32	24.03
Μάιος	19.99	2.33	26.69	15.34
Ιούνιος	5.04	1.79	14.05	2.45
Ιούλιος	0.15	0.03	0.22	0.07
Αύγουστος	0.11	0.02	0.17	0.05
Σεπτέμβριος	0.15	0.03	0.24	0.08
Οκτώβριος	8.04	3.10	18.01	3.28
Νοέμβριος	17.23	2.43	25.87	12.94
Δεκέμβριος	34.10	3.73	46.40	22.66

Πίνακας 51: Στατιστικά Στοιχεία (μέση τιμή, διάμεσος τιμή, μέγιστη και ελάχιστη τιμή) Συνθετικής Χρονοσειράς Εισροής που προέκυψε από 100 Επαναλήψεις- Μέθοδος PARMA(1,1)- [hm<sup>3</sup>]

**Boxplot-timeseries\_PARMA\_method**



Διάγραμμα 36: Θηκόγραμμα Χρονοσειρών μετά από 100 Επαναλήψεις- Μέθοδος PARMA(1,1)-[hm<sup>3</sup>]

Οι παρακάτω πίνακες παρουσιάζουν συγκεντρωτικά τα παραπάνω δεδομένα. Εδώ παρατηρούμε πως η συνθετική χρονοσειρά που προέκυψε από τη μέθοδο PARMA(1,1) προσεγγίζει καλύτερα τη μέση τιμή της χρονοσειράς εισροής, ωστόσο

τα όρια μεταξύ μέγιστης και ελάχιστης τιμής είναι μεγαλύτερα σε αυτή τη σειρά από ότι τα όρια της μεθόδου πλησιέστερων k γειτόνων.

ΜΗΝΙΑΙΑ	mean	max	min	MAX-MIN
Q	22.39	54.75	3.52	51.23
ΣΥΝΘΕΤΙΚΗ_Knn	21.90	28.94	16.48	12.46
ΣΥΝΘΕΤΙΚΗ_PARMA(1,1)	22.71	30.63	16.52	14.11

ΕΤΗΣΙΑ	mean	max	min	MAX-MIN
Q	268.72	657.00	42.20	614.80
ΣΥΝΘΕΤΙΚΗ_Knn	262.76	347.27	197.74	149.53
ΣΥΝΘΕΤΙΚΗ_PARMA(1,1)	272.49	367.56	198.19	169.37

Πίνακας 52: Έλεγχος Στατιστικών Τιμών (μέση τιμή, διάμεσος τιμή, μέγιστη και ελάχιστη τιμή) Ιστορικής Χρονοσειράς Q και Συνθετικής Χρονοσειράς που προέκυψε από 100 Επαναλήψεις- Μέθοδος Πλησιέστερων k Γειτόνων -Μέθοδος PARMA(1,1) [hm<sup>3</sup>]

### Αποτελέσματα Προσομοίωσης Ταμιευτήρα Σμοκόβου με χρήση Συνθετικών Χρονοσειρών Εισροής

Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε προσομοίωση του ταμιευτήρα Σμοκόβου με δεδομένα εισροής τα συνθετικά δεδομένα που προέκυψαν από τις δυο μεθόδους. Από την προσομοίωση αυτή, προέκυψαν τα παρακάτω μεγέθη αποθήκευσης, απώλειας, υπερχειλίσης, εξάτμισης και στάθμης νερού στον ταμιευτήρα, και πάλι με βάση τις μέσες τιμές που προέκυψαν από τις 100 επαναλήψεις και τα αντίστοιχα διαγράμματα. Παρατίθεται, επιπλέον, ο πίνακας των μεγεθών που προέκυψαν από την αρχική προσομοίωση ιστορικών δεδομένων 27 ετών και για τα δυο πακέτα.

KNN method					
ΕΤΗΣΙΑ	STORAGE	RELEASE	SPILL	EVAPORATION	WATER_LEVEL
mean	2065.60	99.90	148.45	8.23	424.40
min	1926.54	99.90	85.70	8.08	403.27
max	2131.91	99.90	203.32	8.29	434.25
MAX-MIN	205.37	0.00	117.62	0.20	30.98

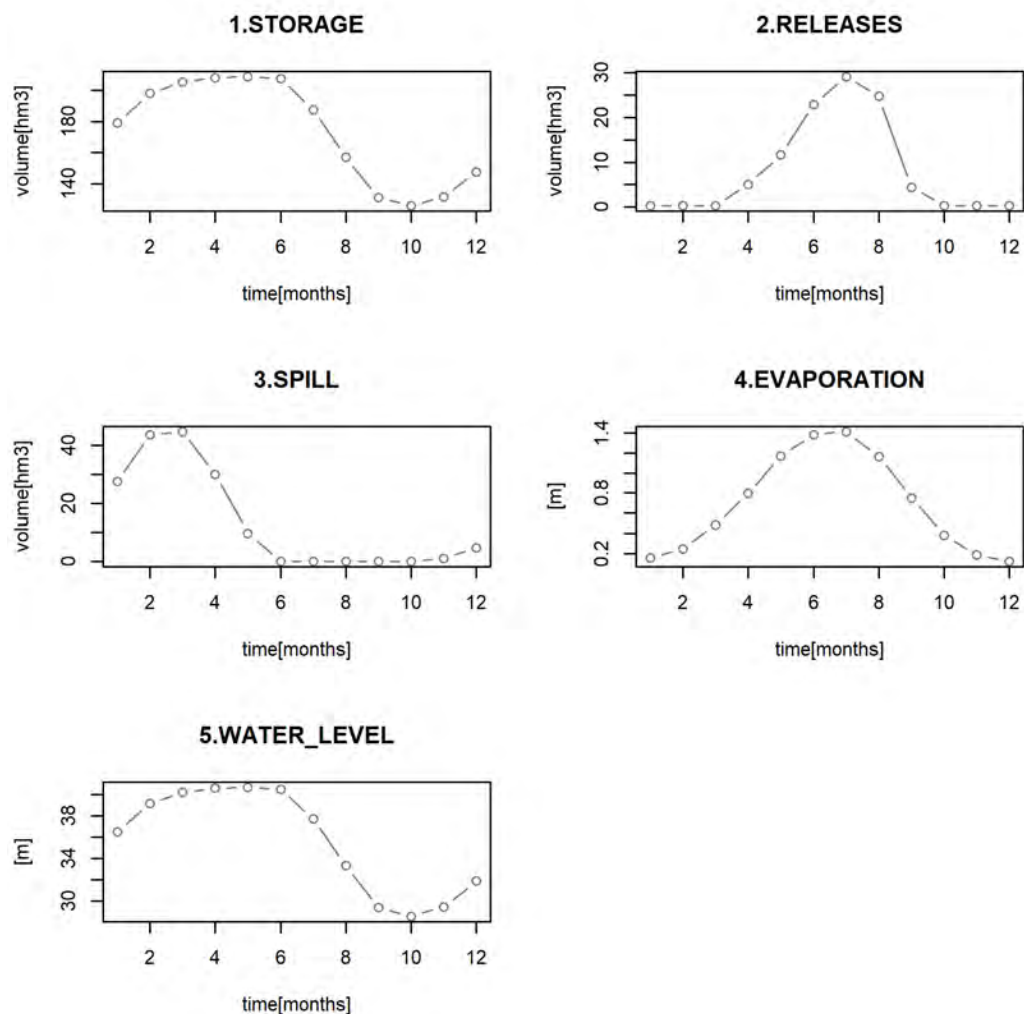
PARMA method					
ΕΤΗΣΙΑ	STORAGE	RELEASE	SPILL	EVAPORATION	WATER_LEVEL
mean	2093.12	99.90	165.81	8.26	428.47
min	2032.81	99.90	100.15	8.20	419.50
max	2150.50	99.90	247.11	8.31	436.93
MAX-MIN	117.69	0.00	146.96	0.11	17.43

ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑ Q RESERVOIR					
ΕΤΗΣΙΑ	STORAGE	RELEASE	SPILL	EVAPORATION	WATER_LEVEL
mean	2089.20	99.90	160.57	8.25	427.88
min	1682.60	99.90	0.00	6.54	365.86
max	2290.72	99.90	501.65	10.20	457.55
MAX-MIN	608.12	0.00	501.65	3.66	91.69

ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑ Q WRSS						
ΕΤΗΣΙΑ	STORAGE	RELEASE	SPILL	LOSS	SEEPAGE	POWER
mean	2080.77	99.90	174.87	7.93	0.00	0.00
min	1676.20	99.90	0.00	6.03	0.00	0.00
max	2284.10	99.90	519.76	9.62	0.00	0.00
MAX-MIN	607.90	0.00	519.76	3.59	0.00	0.00

Πίνακας 53: Αποτελέσματα Ταμιευτήρα Γυρτώνης -Μέσες Μέσες, Ελάχιστες και Μέγιστες Ετήσιες Τιμές-Αποθήκευση, Εκροή, Υπερχείλιση , Εξάτμιση και Στάθμη (Μέθοδος Πλησιέστερων k Γειτόνων και Μέθοδος PARMA(1,1)) [hm<sup>3</sup>]

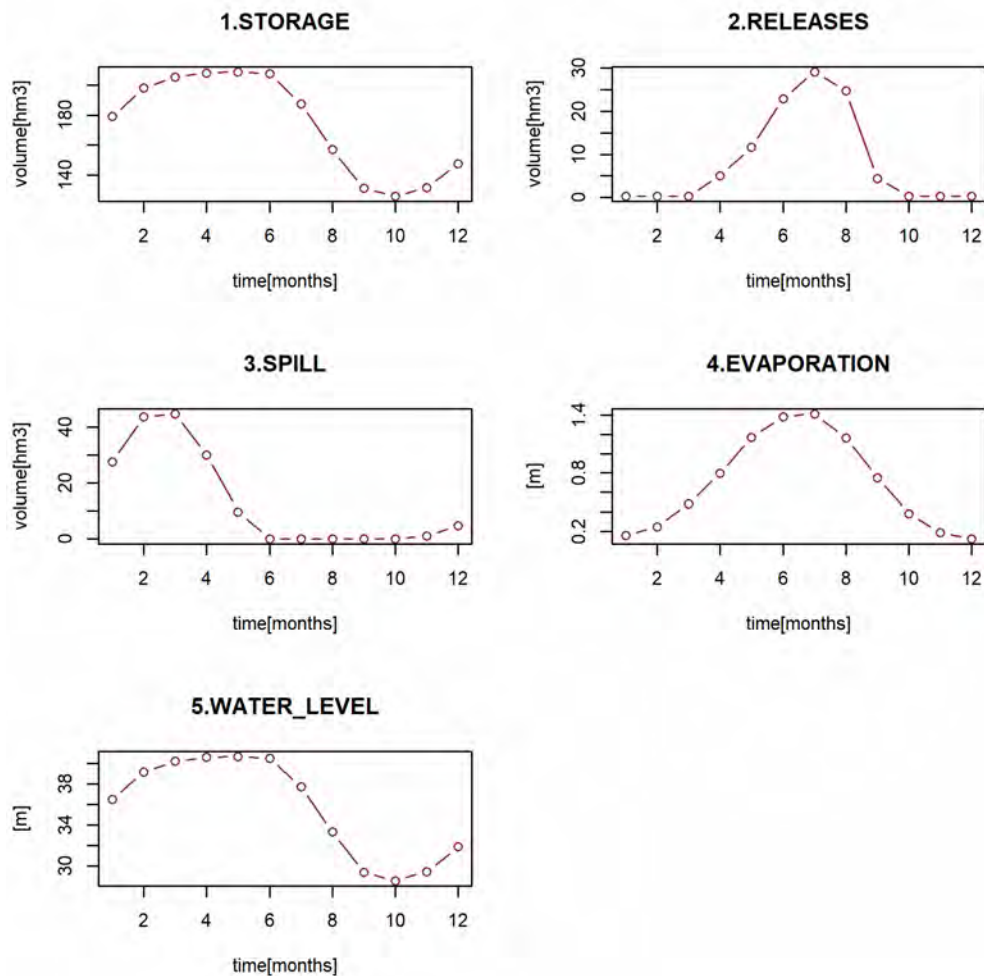
Η σύγκριση των δυο πακέτων μπορεί να γίνει για τα μεγέθη αποθήκευσης, απόληψης και υπερχειλίσης, παρατηρώντας πως οι τιμές τους είναι εξαιρετικά κοντά. Ακόμη παρατηρούμε πως για τις δυο μεθόδους Πλησιέστερων k Γειτόνων και PARMA(1,1) ισχύει η ίδια παρατήρηση που διατυπώθηκε στα αποτελέσματα εισροής με την πρώτη να παρουσιάζει πιο «στενά» όρια μέγιστης και ελάχιστης τιμής και τη δεύτερη να εμφανίζει καλύτερη προσέγγιση μέσης τιμής. Τα διαγράμματα που ακολουθούν αποδεικνύουν την καλή προσέγγιση και των δυο μεθόδων λόγω της ομοιότητάς τους με το προηγούμενο διάγραμμα της αρχικής προσομοίωσης. Ακόμη, η αξιοπιστία υπολογίζεται ίση με 1 και για τις δυο μεθόδους υποδηλώνοντας δυνατότητα κάλυψης των ζητήσεων από τον ταμιευτήρα.



Διάγραμμα 37: Αποτελέσματα Προσομοίωσης Ταμιευτήρα Σμοκόβου με Χρονοσειρά Εισροής τη Συνθετική Χρονοσειρά (100 επαναλήψεις)- Μέθοδος Πλησιέστερων k Γειτόνων: Αποθήκευση, Υπερχείλιση, Εκροή, Εξάτμιση και Στάθμη

Αξιοπιστία, Ελαστικότητα και Ευπάθεια Συστήματος Προσομοίωσης μετά από 100 επαναλήψεις -Μέθοδος Πλησιέστερων k Γειτόνων:

$$\text{Αξιοπιστία} = 1, \text{Ελαστικότητα} = \text{Ευπάθεια} = \text{NA}$$



Διάγραμμα 38: Αποτελέσματα Προσομοίωσης Ταμιευτήρα Σμοκόβου με Χρονοσειρά Εισροής τη Συνθετική Χρονοσειρά (100 επαναλήψεις)- Μέθοδος PARMA(1,1): Αποθήκευση, Υπερχείλιση, Εκροή, Εξάτμιση και Στάθμη

Αξιοπιστία, Ελαστικότητα και Ευπάθεια Συστήματος Προσομοίωσης μετά από 100 επαναλήψεις -Μέθοδος PARMA(1,1)

Αξιοπιστία =1, Ελαστικότητα = Ευπάθεια = NA

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

### Συμπεράσματα

Ανακεφαλαιώνοντας, στην εργασία που εκπονήθηκε, πραγματοποιήθηκε προσομοίωση τριών ταμιευτήρων της περιοχής της Θεσσαλίας, Γυρτώνης, Κάρλας και Σμοκόβου για ιστορικά και συνθετικά δεδομένα εισροής με χρήση του προγράμματος R-Studio. Η προσομοίωση περιλαμβάνει την ποσότητα εισροής σε κάθε ταμιευτήρα και την εκτιμώμενη εκροή με βάση τις ζητήσεις κάθε περιοχής. Σημειώνεται ότι δεν λήφθηκαν υπόψη οι διηθούμενες ποσότητες ύδατος και η λειτουργία υδροηλεκτρικών σταθμών. Για την αρχική προσομοίωση των ταμιευτήρων με δεδομένες ιστορικές χρονοσειρές εισροής, επιλέχθηκε προσομοίωση χρησιμοποιώντας δυο πακέτα, WRSS και Reservoir, ενώ η δημιουργία συνθετικών δεδομένων επιτεύχθηκε με την εφαρμογή δυο μεθόδων παραγωγής συνθετικών χρονοσειρών, τη μέθοδο πλησιέστερων  $k$  γειτόνων και PARM(1,1). Ακόμη, για τον ταμιευτήρα Κάρλας μελετήθηκαν δυο επιπλέον εναλλακτικά σενάρια εισροής. Στην αρχική προσομοίωση του ταμιευτήρα Κάρλας, λήφθηκε ως εισροή το άθροισμα της ποσότητας νερού που εισέρχεται στον ταμιευτήρα λόγω βροχόπτωσης, του όγκου νερού της λεκάνης απορροής της Κάρλας και του νερού που εισέρχεται από το αντλιοστάσιο Κάρλας στον ποταμό Πηνειό, ενώ στο πρώτο εναλλακτικό σενάριο θεωρήθηκε μειωμένη εισροή κατά την ποσότητα βροχόπτωσης και στο δεύτερο εναλλακτικό σενάριο επίσης μειωμένη εισροή κατά την αντλούμενη από τον Πηνειό ποσότητα.

Στόχο της παρούσας εργασίας αποτέλεσε η μελέτη της συμπεριφοράς του συστήματος για τα ιστορικά και συνθετικά δεδομένα, η αξιολόγησή του μέσω των τιμών αξιοπιστίας, ελαστικότητας και ευπάθειας που προέκυψαν, καθώς και η σύγκριση των πακέτων και των δυο μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν.

Τα αποτελέσματα των δυο πακέτων, WRSS και Reservoir, παρουσίασαν μεγάλη ομοιότητα στις τιμές τους, συνεπώς η προσομοίωση μπορεί να πραγματοποιηθεί με οποιοδήποτε από αυτά. Το πακέτο WRSS, παρέχει τη δυνατότητα άμεσης δημιουργίας γραφημάτων αναπαράστασης της περιοχής μελέτης, της εισροής, των ζητήσεων και του υδατικού ισοζυγίου. Ωστόσο, το πακέτο Reservoir κρίνεται πιο εύχρηστο και παρέχει πολύ περισσότερες δυνατότητες υπολογισμών, εξαιτίας του



μεγαλύτερου αριθμού διαθέσιμων συναρτήσεων προσομοίωσης, παραγωγής συνθετικών χρονοσειρών και διαχείρισης και αξιολόγησης λειτουργίας ταμιευτήρων.

Συγκρίνοντας τις δυο μεθόδους παραγωγής συνθετικών χρονοσειρών και για τους τρεις ταμιευτήρες, οδηγούμαστε σε ένα κοινό συμπέρασμα. Οι συνθετικές χρονοσειρές που δημιουργήθηκαν με εφαρμογή της μεθόδου PARMA(1,1) προσεγγίζουν καλύτερα τις μέσες τιμές των αντίστοιχων συνθετικών χρονοσειρών από ότι οι συνθετικές χρονοσειρές που προέκυψαν από τη μέθοδο πλησιέστερων  $k$  γειτόνων. Πάραυτα, το εύρος μέγιστων και ελάχιστων τιμής υπολογίστηκε μικρότερο στα αποτελέσματα της συνθετικής χρονοσειράς που δημιουργήθηκε μέσω της μεθόδου πλησιέστερων  $k$  γειτόνων. Εξαίρεση αποτελούν τα αποτελέσματα του δεύτερου εναλλακτικού σεναρίου, μειωμένης κατά την ποσότητα άντλησης εισροής, σύμφωνα με τα οποία η χρονοσειρά της μεθόδου πλησιέστερων  $k$  γειτόνων προσέγγισε καλύτερα την ιστορική χρονοσειρά και ως προς τη μέση τιμή παρουσιάζοντας ταυτόχρονα το μικρότερο εύρος μέγιστων-ελάχιστων τιμών.

Όσον αφορά στο φυσικό σύστημα και τη συμπεριφορά του, παρατηρούμε μια κοινή συμπεριφορά των μεγεθών εκροής και εξάτμισης και στις τρεις περιοχές, μεγέθη τα οποία παρουσιάζουν μείωση τους εαρινούς και θερινούς μήνες έως και τις αρχές του φθινοπώρου. Η συμπεριφορά αυτή δικαιολογείται από το θερμό και ξηρό κλίμα της περιοχής της Θεσσαλίας και από το γεγονός ότι η τελευταία αποτελεί μια εύφορη, παραγωγική πεδιάδα με μεγάλη ποσότητα αρδευτικών υδατικών αναγκών.

Συγκεκριμένα, ο ταμιευτήρας Γυρτώνης, εξυπηρετεί τρεις ζητήσεις οικολογικής παροχής, άρδευσης και άντλησης νερού για τις ανάγκες του ταμιευτήρα της Κάρλας. Η αξιοπιστία, η οποία ορίζεται ως η πιθανότητα παροχής της εκροής που απαιτείται για την ικανοποίηση των υδατικών αναγκών και η οποία κυμαίνεται από 0 έως 1, προέκυψε ίση με 1. Η ελαστικότητα και η ευπάθεια, δηλαδή ο ρυθμός επιστροφής σε κατάσταση ισορροπίας και το μέτρο του εύρους κατώτατης τιμής και τιμών μη ικανοποιητικών τιμών αντίστοιχα (δεν υπάρχουν μη ικανοποιητικές τιμές). Τα αποτελέσματα, λοιπόν, έδειξαν πως οι ζητήσεις αυτές καλύπτονται πλήρως, όπως δικαιολογείται από την υψηλή εισροή που δέχεται το σύστημα από τον Πηνειό ποταμό αλλά και εξαιτίας της μικρής χωρητικότητας του ταμιευτήρα Γυρτώνης ( $5\text{hm}^3$ ) για αυτό και οι ποσότητες αποθήκευσης και στάθμης νερού παραμένουν

σταθερά υψηλές. Αξίζει να σημειωθεί ότι στη συγκεκριμένη περιοχή παρατηρείται εξαιρετικά υψηλή ποσότητα υπερχειλίσσης μέσης μηνιαίας τιμής  $165 \text{ hm}^3$ .

Η επόμενη περιοχή που μελετήθηκε ήταν αυτή του ταμιευτήρα Κάρλας. Η άρδευση των γύρω περιοχών αποτελεί την κύρια ζήτηση που καλείται να καλύψει ο ταμιευτήρας χωρητικότητας  $84.14 \text{ hm}^3$ . Η αρχική προσομοίωση με την ιστορική χρονοσειρά εισροής να υπολογίζεται ως άθροισμα όλων των παραγόντων που αναφέρθηκε παραπάνω, αποτελεί ένα ιδανικό σενάριο και για το λόγο αυτό οδήγησε σε αποτέλεσμα πλήρους κάλυψης των αρδευτικών αναγκών με την αξιοπιστία να ισούται με 1 και την αποθήκευση και τη στάθμη νερού στον ταμιευτήρα σε υψηλές τιμές. Η υπερχειλίση τους χειμερινούς μήνες φτάνει τα  $20 \text{ hm}^3$ . Στα εναλλακτικά σενάρια που ακολούθησαν, η μειωμένη εισροή επέφερε μεγάλη μείωση των μεγεθών αξιοπιστίας, ελαστικότητας και ευπάθειας, υποδηλώνοντας πιθανή αδυναμία κάλυψης των αρδευτικών υδατικών αναγκών με την αφαίρεση είτε της βροχόπτωσης είτε της αντλούμενης ποσότητας νερού από τον Πηνειό ποταμό από την εισροή. Οι προσομοιώσεις των εναλλακτικών σεναρίων οδήγησαν σε διαγράμματα αποθήκευσης στάθμης και υπερχειλίσσης με δραματικά μειωμένες τιμές συγκριτικά με την αρχική προσομοίωση. Δυσχερέστερο σενάριο κρίνεται το πρώτο εναλλακτικό σενάριο, συνεπώς η αφαίρεση της βροχόπτωσης επέφερε τις πιο έντονες αλλαγές. Ωστόσο, τα δυο σενάρια αποδεικνύουν πως τόσο η βροχόπτωση όσο και η άντληση από τον Πηνειό αποτελούν παράγοντες εισροής με εξαιρετικά σημαντική επίπτωση στη συμπεριφορά του συστήματος.

Η τελευταία προσομοίωση που πραγματοποιήθηκε αφορά την περιοχή του Σμοκόβου. Ο ταμιευτήρας της περιοχής, χωρητικότητας  $209.2 \text{ hm}^3$ , καλείται να καλύψει τις ζητήσεις ύδρευσης, οικολογικής παροχής και άρδευσης περιοχών της Λάρισας, πράγμα το οποίο επιτυγχάνεται πλήρως, αφού η τιμή της αξιοπιστίας προκύπτει ίση με ένα. Συνακόλουθα, η ελαστικότητα και η ευπάθεια του συστήματος δεν ορίζονται. Όπως αναμένεται, και εδώ η αποθήκευση και η στάθμη νερού δεν παρουσιάζουν έντονες διακυμάνσεις, αφού η πρώτη κυμαίνεται από  $160 \text{ hm}^3$  έως  $180 \text{ hm}^3$  και η δεύτερη από  $33 \text{ hm}^3$  έως  $36 \text{ hm}^3$  (μέσες μηνιαίες τιμές). Τέλος, η υπερχειλίση είναι επίσης σημαντική τους χειμερινούς μόνο μήνες με μέση μηνιαία τιμή  $12 \text{ hm}^3$ .

Τέλος, το σύστημα θα μπορούσε να διερευνηθεί περαιτέρω λαμβάνοντας υπόψη τον διηθούμενο όγκο νερού αλλά και τη λειτουργία υδροηλεκτρικών σταθμών.

Ενδιαφέρον παρουσιάζει, ακόμη, η αλληλεπίδραση των συγκεκριμένων ταμιευτήρων με άλλους ταμιευτήρες της περιοχής της Θεσσαλίας αλλά και η διαχείριση των επιμέρους ζητήσεων. Η τελευταία είναι δυνατό να υλοποιηθεί μέσω των συναρτήσεων Storage και Yield του πακέτου Reservoir. Το πακέτο Reservoir προσφέρει επιπλέον τη δυνατότητα δυναμικού προγραμματισμού μέσω των συναρτήσεων dp.

## Βιβλιογραφία

- Angelakis, A.N., Mays, L.W. & Koutsoyiannis, D. 2012. *Evolution of Water Supply Through the Millennia*. IWA Publishing.
- Bengtsson, L., Herschy, R.W. & Fairbridge, R.W. (eds.) 2012. *Encyclopedia of Lakes and Reservoirs*. Springer.
- Beven, K.J. 2009. Environmental modeling: an uncertain future? *An introduction to techniques for uncertainty estimation in environmental prediction*. Routledge.
- Chanson, H. (ed.) 2015. *Energy Dissipation in Hydraulic Structures*. CRC Press.
- Ghosh, S.N. 2014. *Flood Control and Drainage Engineering*. CRC Press.
- Hurst, H.E. (1951) *Long-term storage capacity of reservoirs*, Transactions of the American Society of Civil Engineers 116, 770-808.
- Kaveh, K., H. Hosseinzadeh, and K. Hosseini. (2013) *A new equation for calculation of reservoir's area-capacity curves*, KSCE Journal of Civil Engineering 17(5), 1149-1156.
- Lall, U. and Sharma, A. (1996). *A nearest neighbor bootstrap for resampling hydrologic time series*. Water Resources Research, 32(3), pp.679-693.
- Lehner, B., R-Liermann, C., Revenga, C., Vorosmarty, C., Fekete, B., Crouzet, P., Doll, P. et al.: *High resolution mapping of the world's reservoirs and dams for sustainable river flow management*. Frontiers in Ecology and the Environment. Source: GWSP Digital Water Atlas (2008). Map 81:GRanD Database (V1.0)
- Liebe, J., N. Van De Giesen, and Marc Andreini. (2005) *Estimation of small reservoir storage capacities in a semi-arid environment: A case study in the Upper East Region of Ghana*, Physics and Chemistry of the Earth, 30(6), 448-454.
- Loucks, D.P., van Beek, E., Stedinger, J.R., Dijkman, J.P.M. and Villars, M.T. (2005) *Water resources systems planning and management: An introduction to methods, models and applications*. Unesco publishing, Paris, France.

- Mays, L.W. 1999. *Hydraulic Design Handbook*. McGraw-Hill.
- Mays, L.W. (ed.) 2010. *Ancient Water Technologies*. Springer.
- Mays, L.W. 2010. *Water Resources Engineering*. Wiley.
- McMahon, T.A., Adedoye, A.J., Zhou, S.L. (2006) *Understanding performance measures of reservoirs*, Journal of Hydrology 324 (359-382)
- McMahon, T.A. & Mein, R.G. 1978. *Reservoir Capacity and Yield*. Elsevier Scientific Publishing Company.
- Nicholas E. Graham and Konstantine P. Georgakakos, 2010: *Toward Understanding the Value of Climate Information for Multiobjective Reservoir Management under Present and Future Climate and Demand Scenarios*. J. Appl. Meteor. Climatol., 49, 557-573.
- PARMA method: Salas, J.D. and Fernandez, B., 1993. *Models for data generation in hydrology: univariate techniques*. In Stochastic Hydrology and its Use in Water Resources Systems Simulation and Optimization (pp. 47-73). Springer Netherlands.
- Pfaff, B. (2008) *Analysis of integrated and cointegrated time series with R*, Springer, New York.[p.68]
- Rippl, W. (1883) *The capacity of storage reservoirs for water supply*. In Proceedings of the Institute of Civil Engineers, 71, 270-278.
- O. G. B. Sveinsson, J. D. Salas, W. L. Lane, and D. K. Frevert. (2007) *Stochastic Analysis, Modeling, and Simulation (SAMS)*. Colorado State University, Colorado, USA.
- Thomas H.A., Burden R.P. (1963) *Operations research in water quality management*. Harvard Water Resources Group, Cambridge
- Καραναστάση, Μ. 2017. *Διερεύνηση δυνατοτήτων βέλτιστης αξιοποίησης υδρο-ενεργειακών πόρων περιοχής Αχελώου-Θεσσαλίας*. (διπλωματική εργασία)

Στο Κύρκος, Ε. 2015. *Επιχειρηματική ευφυΐα και εξόρυξη δεδομένων*. [ηλεκτρ. βιβλ.] Αθήνα: Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών

Μιμίκου Μ.Α. *Τεχνολογία Υδατικών Πόρων*. Εκδ. Παπασωτηρίου, 2006.

Μίχας Σ. Α. Ευστρατιάδης, και Δ. Δερματάς. *Σημειώσεις μαθήματος "Υδραυλικές Κατασκευές -Φράγματα"*. Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος –Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2015(<https://www.itia.ntua.gr/el/docinfo/1591/>).

Νικολόπουλος, Δ. 2015. *Ανάπτυξη μοντέλου συνδυασμένης διαχείρισης λεκανών απορροής Αχελώου και Πηνειού*. (διπλωματική εργασία)

Παπαμιχαήλ Δ. *Τεχνική Υδρολογία Επιφανειακών Υδάτων*. Εκδ. Γιαχούδη, 2004.

Τσακίρης Γ. *Υδατικοί Πόροι: Ι. Τεχνική Υδρολογία και Διαχείριση των Υδατικών Πόρων*. Εκδ. Συμμετρία, 2012

Στάμου, Γ. Παπαθεοδώρου, Ε. 2015. *Δομή και δυναμική βιοκοινοτήτων*. [ηλεκτρ. βιβλ.] Αθήνα: Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών

Τσακίρης Γ. *Υδραυλικά Έργα: Σχεδιασμός και Διαχείριση. ΤΟΜΟΣ Ι: Αστικά Υδραυλικά Έργα*, Εκδ. Συμμετρία, Αθήνα 2010

### **Τεχνικές Εκθέσεις**

Τεχνική Έκθεση ΥΔΡΟΜΕΝΤΩΡ: Ανάπτυξη Ολοκληρωμένου Συστήματος Παρακολούθησης και Διαχείρισης Ποσότητας και Ποιότητας Υδατικών Πόρων Αγροτικών Λεκανών Απορροής υπό Συνθήκες Κλιματικής Αλλαγής. Εφαρμογή στη Λεκάνη Απορροής της Λίμνης Κάρλας:

Υδρομέντωρ. Τεχνική έκθεση: *ΠΑΡΑΔΟΤΕΟ 3.3: Τεχνική έκθεση εφαρμογής μεθοδολογικού πλαισίου και εργαλείων εκτίμησης αναγκών σε νερό στη λεκάνη απορροής της Κάρλας-Εκτίμηση υδατικού ισοζυγίου της λίμνης Κάρλας*. 2015

Τεχνική Έκθεση ΥΔΡΕΤΜΕ Ε.Ε: Έργα τροφοδοσίας τάφρων 9Τ, 9Τλ και 9Τμ με βαρύτητα από τον ταμιευτήρα Γυρτώνης και έργα αντιπλημμυρικής προστασίας παρόχθιων χαμηλών περιοχών του Πηνειού, Μελετητής Έργου: ΥΔΡΕΤΜΕ Ε.Ε., κλπ., Υπεύθυνος μελέτης: Αφρ. Μοίρα, Μελετητής ΜΠΕ: Παν. Μαρκαντωνάτος:

ΥΔΡΕΤΜΕ Ε.Ε. Τεχνική έκθεση: *ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. Τεχνικά Χαρακτηριστικά του Υφιστάμενου Έργου*. 2014

Τεχνική Έκθεση: Μελέτη σε σχέση με το Έγγραφο της Δ/σης Υδάτων Θεσσαλίας, Τμήμα Ανάπτυξης & Διμερών Σχέσεων με Αρ, Πρωτ, 3942/248378, 2795/156529 14-1-2014 με Θέμα «Περί χορήγησης άδειας χρήσης νερού για άρδευση από τον ποταμό Πηνειό – Β' Αντλιοστάσιο ΤΟΕΒ Πηνειού» που αφορά το έργο για απόληψη νερού από τον Πηνειό ποταμό μέσω αγωγού υδροληψίας για τη λειτουργία του υφιστάμενου αντλιοστασίου του Τ,Ο,Ε,Β Πηνειού (Β' Αντλιοστάσιο του Τ,Ο,Ε,Β) με σκοπό την άρδευση.

Β) Τεχνική έκθεση: Βασιλειάδης Λ. και Λουκάς Α

. *ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. Υδατικό Διαμέρισμα Θεσσαλίας και Υδρολογική Λεκάνη*. 2014

### **Ηλεκτρονικές Πηγές:**

Ανάλυση Παλινδρόμησης Εργαστήριο. Μαθηματικών & Στατιστικής / Γ. Παπαδόπουλος

<https://www.aua.gr/gpapadopoulos/files/regression9.pdf>

Ιστοσελίδα: « Δήμος Λίμνης Πλαστήρα, Νομός Καρδίτσας»,

[www.plastiras-ota.gr/building/fragma/](http://www.plastiras-ota.gr/building/fragma/)

Ιστοσελίδα: « Δήμος Σερβίων-Βελβεντού»,

[www.visit-msv.gr/?place=φράγμα-λίμνη-υαρίωνος](http://www.visit-msv.gr/?place=φράγμα-λίμνη-υαρίωνος)

Ιστοσελίδα «Οργανισμός Έρευνας και Ανάλυσης Διανέοσις»,

<https://www.dianeosis.org/2017/02/mesochora/>

Ιστοσελίδα Σημειώσεων Μαθήματος «Υδραυλικές Κατασκευές-Φράγματα», Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου

<https://ocw.aoc.ntua.gr/modules/document/file.php/CIVIL119/HS-D-01-Intro.pdf>

Ιστοσελίδα Σημειώσεων Μαθήματος «Υδροηλεκτρικά Έργα», Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου

([http://users.itia.ntua.gr/dk/courses/yhe/slides/HW\\_15\\_Dams.pdf](http://users.itia.ntua.gr/dk/courses/yhe/slides/HW_15_Dams.pdf))

Ιστοσελίδα Σημειώσεων Μαθήματος «Υδραυλικές Κατασκευές-Φράγματα», Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου

( [www.itia.ntua.gr/el/docinfo/1591/](http://www.itia.ntua.gr/el/docinfo/1591/) )

Ιστοσελίδα: « Ταμειωτήρας Ταυρωπού»,

[http://users.itia.ntua.gr/nikos/arx\\_int/CDfrag/reservoirs/tavropos\\_main.htm](http://users.itia.ntua.gr/nikos/arx_int/CDfrag/reservoirs/tavropos_main.htm)



Ιστοσελίδα Σημειώσεων Μαθήματος «Υδρολογική Προσομοίωση», Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

<http://eclass.uth.gr/eclass/modules/units/?course=MHXC172&id=3248> )

Ιστοσελίδα Υ.ΠΕ.ΘΕ (Υδάτινοι Πόροι και Περιβάλλον Θεσσαλίας),

[https://www.ypethe.gr/sites/default/files/basicpagefiles/1\\_2015\\_3\\_perigrafi\\_thyrofragmatos\\_gyrtonis\\_.pdf](https://www.ypethe.gr/sites/default/files/basicpagefiles/1_2015_3_perigrafi_thyrofragmatos_gyrtonis_.pdf)

Ιστοσελίδα Υ.ΠΕ.ΘΕ (Υδάτινοι Πόροι και Περιβάλλον Θεσσαλίας),

<https://www.ypethe.gr/archive/perissoteres-plirofories-thyrofragma-gyrtonis>

Ιστοσελίδα Υ.ΠΕ.ΘΕ (Υδάτινοι Πόροι και Περιβάλλον Θεσσαλίας),

[https://www.ypethe.gr/sites/default/files/basicpagefiles/1\\_2015\\_3\\_perigrafi\\_thyrofragmatos\\_gyrtonis\\_.pdf](https://www.ypethe.gr/sites/default/files/basicpagefiles/1_2015_3_perigrafi_thyrofragmatos_gyrtonis_.pdf)

Ιστοσελίδα Υ.ΠΕ.ΘΕ (Υδάτινοι Πόροι και Περιβάλλον Θεσσαλίας),

[https://www.ypethe.gr/sites/default/files/basicpagefiles/2007\\_-\\_2014\\_foto\\_ergoy\\_gyrtonis.pdf](https://www.ypethe.gr/sites/default/files/basicpagefiles/2007_-_2014_foto_ergoy_gyrtonis.pdf)

Ιστοσελίδα Υ.ΠΕ.ΘΕ (Υδάτινοι Πόροι και Περιβάλλον Θεσσαλίας),

<https://www.ypethe.gr/archive/perissoteres-plirofories-tamieytiras-karlas>

Ιστοσελίδα Υ.ΠΕ.ΘΕ (Υδάτινοι Πόροι και Περιβάλλον Θεσσαλίας),

<https://www.ypethe.gr/page/yie-smokovoy>

Ιστοσελίδα Υ.ΠΕ.ΘΕ (Υδάτινοι Πόροι και Περιβάλλον Θεσσαλίας),

<https://www.ypethe.gr/archive/perissoteres-plirofories-fragma-smokovoy>

Ιστοσελίδα Υ.ΠΕ.ΘΕ (Υδάτινοι Πόροι και Περιβάλλον Θεσσαλίας),

[https://www.ypethe.gr/sites/default/files/basicpagefiles/2008\\_11\\_synedrio\\_megalon\\_fragmaton\\_tee\\_-\\_oloklirosi\\_fragmatos\\_smokovoy\\_-\\_i.\\_karavokyris\\_klp.pdf](https://www.ypethe.gr/sites/default/files/basicpagefiles/2008_11_synedrio_megalon_fragmaton_tee_-_oloklirosi_fragmatos_smokovoy_-_i._karavokyris_klp.pdf)

Ιστοσελίδα Υ.ΠΕ.ΘΕ (Υδάτινοι Πόροι και Περιβάλλον Θεσσαλίας),

[https://www.ypethe.gr/sites/default/files/basicpagefiles/1984\\_-\\_2007\\_foto\\_ergoy\\_smokovoy.pdf](https://www.ypethe.gr/sites/default/files/basicpagefiles/1984_-_2007_foto_ergoy_smokovoy.pdf)

<http://wikimapia.org/>

<https://photorator.com/photo/10292/daniel-johnson-dam-quebec-canada->

## Παράρτημα

### Α. Πίνακες

#### Γυρτώνη

ΕΤΟΣ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΑΘΡ.ΕΤΟΣ
1960	348.11	371.92	347.54	255.62	156.02	99.16	74.59	60.59	52.42	19.29	48.55	166.99	2000.81
1961	402.37	261.14	244.45	183.49	100.67	85.34	71.97	59.12	45.43	56.42	83.65	155.49	1749.54
1962	238.55	369.11	480.88	253.73	96.27	80.13	63.32	47.43	57.98	96.18	671.89	1009.48	3464.96
1963	825.91	806.52	528.25	217.39	174.60	132.14	84.61	68.05	54.83	75.65	105.48	347.80	3421.22
1964	362.41	217.54	411.29	266.73	105.33	101.25	85.68	67.52	57.92	58.51	75.94	222.63	2032.76
1965	348.66	396.21	340.99	273.34	165.48	103.98	88.44	70.50	51.60	43.91	61.27	87.14	2031.51
1966	298.72	225.79	236.80	183.12	104.42	94.24	79.97	62.91	55.68	58.29	88.06	375.34	1863.34
1967	383.01	239.08	147.96	115.22	111.67	95.25	79.99	70.39	63.77	64.16	66.23	85.06	1521.80
1968	257.79	314.88	235.84	141.86	104.24	97.42	78.66	59.33	48.81	58.05	80.36	471.40	1948.65
1969	550.59	480.67	554.77	283.48	93.00	73.20	55.87	42.71	40.94	40.90	41.98	78.27	2336.38
1970	234.54	344.28	303.00	162.16	93.48	82.29	71.50	59.28	46.72	48.26	56.02	68.77	1570.32
1971	90.58	317.94	638.38	344.14	101.06	81.16	64.22	52.33	46.49	50.97	67.47	88.16	1942.89
1972	269.63	518.22	398.61	419.96	248.67	90.45	79.93	76.09	65.56	87.71	113.19	109.26	2477.27
1973	272.51	442.11	629.94	328.39	96.49	77.65	65.04	58.82	57.40	78.09	103.11	330.88	2540.43
1974	436.11	661.71	543.09	473.15	255.79	96.06	76.53	55.04	45.24	54.13	78.69	98.20	2873.76
1975	101.31	212.84	186.93	119.01	104.44	100.15	89.54	75.42	64.64	59.27	75.66	101.64	1290.86
1976	173.28	548.94	408.56	254.54	171.20	98.47	79.75	68.52	58.33	57.29	74.31	99.08	2092.27
1977	113.77	110.85	100.10	90.19	78.63	63.36	49.35	36.67	34.82	38.19	46.85	74.65	837.42
1978	285.59	332.21	190.41	237.99	175.55	89.06	65.63	47.44	58.84	85.19	98.12	247.61	1913.64
1979	488.98	514.48	245.16	193.76	238.63	147.71	82.78	66.83	53.49	75.45	478.47	688.74	3274.48
1980	654.87	462.89	538.27	330.49	129.95	104.89	81.00	60.08	46.56	74.56	195.15	458.84	3137.55
1981	744.43	536.74	202.48	110.67	107.14	89.62	67.72	53.30	49.62	60.42	82.03	291.44	2395.62
1982	223.46	452.65	733.40	701.38	581.97	258.54	79.85	62.07	54.96	67.07	146.36	395.41	3757.11
1983	258.57	157.77	147.29	110.82	89.84	86.56	86.34	71.62	56.09	54.82	72.14	453.75	1645.61
1984	568.16	575.61	455.62	554.06	309.09	91.53	68.95	61.35	58.99	48.34	53.72	75.80	2921.22
1985	204.63	216.32	310.21	316.66	166.69	86.32	64.72	47.78	34.26	42.77	155.14	212.56	1858.05
1986	296.94	599.82	420.40	151.13	99.53	99.54	89.74	72.15	57.30	67.75	94.64	109.86	2158.81
1987	410.64	436.54	752.71	597.33	209.36	100.73	78.82	61.46	48.12	56.55	89.15	142.94	2984.34
1988	247.08	302.83	215.65	129.79	98.88	77.60	57.79	41.81	31.43	33.36	64.87	130.99	1432.08
1989	129.63	115.93	222.09	168.37	95.92	83.65	75.09	64.93	49.06	49.62	64.43	84.40	1203.13
1990	93.14	89.49	85.31	77.81	81.13	76.66	57.34	55.67	55.88	52.31	76.75	664.09	1465.58
1991	655.84	414.04	339.20	585.96	388.60	127.38	80.31	67.87	55.88	51.10	63.81	77.40	2907.40
1992	82.66	87.31	87.80	140.52	170.18	130.35	97.98	74.76	54.33	51.17	60.32	75.70	1113.09
1993	96.91	226.87	259.65	156.73	148.61	126.01	80.72	57.90	42.29	36.46	72.85	241.71	1546.71
1994	564.46	772.06	366.67	183.69	153.39	97.88	76.86	60.74	46.29	111.58	378.24	561.46	3373.31
1995	671.35	331.18	285.82	211.89	104.32	87.57	73.79	65.98	65.95	66.84	67.41	267.20	2299.29
1996	520.64	613.16	595.51	281.63	101.31	82.03	64.79	58.52	60.63	82.44	107.45	372.16	2940.24
1997	584.67	348.60	210.45	289.49	187.73	92.75	76.46	66.26	57.01	67.21	94.08	507.05	2581.76
1998	375.81	395.78	359.05	160.24	142.49	124.78	79.32	58.23	50.05	49.23	447.17	796.52	3038.67
1999	545.38	397.28	567.66	310.99	108.11	90.75	69.75	58.51	55.63	62.20	89.64	355.89	2711.80
2000	307.87	408.00	266.15	109.58	95.92	78.91	61.26	46.17	40.25	52.12	66.96	82.14	1615.32
2001	155.94	264.71	180.15	109.44	107.95	92.06	73.89	60.80	47.72	40.28	44.63	68.67	1246.26
2002	93.46	100.44	169.60	405.66	254.94	89.34	77.68	72.29	75.06	59.15	121.48	269.82	1788.92
2003	348.11	371.92	347.54	255.62	156.02	99.16	74.59	60.59	52.42	59.15	121.48	269.82	2216.42
2004	348.11	371.92	347.54	255.62	156.02	99.16	74.59	60.59	52.42	59.15	121.48	269.82	2216.42
2005	348.11	371.92	347.54	255.62	156.02	99.16	74.59	60.59	52.42	59.15	121.48	269.82	2216.42
2006	348.11	371.92	347.54	255.62	156.02	99.16	74.59	60.59	52.42	59.15	121.48	269.82	2216.42
ΜΕΣΗ Τ	348.11	371.92	347.54	255.62	156.02	99.16	74.59	60.59	52.42	59.15	121.48	269.82	2216.42

Πίνακας 54: Απορροή Γυρτώνης [hm<sup>3</sup>]



ΕΤΟΣ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΑΘΡ.ΕΤΟΥΣ
1960	1.72	2.41	4.08	11.14	13.54	17.87	25.46	20.55	9.51	1.31	0.65	1.08	109.32
1961	1.72	2.41	4.08	11.14	13.54	17.87	25.46	20.55	9.51	1.31	0.65	1.08	109.32
1962	1.72	2.41	4.08	11.14	13.54	17.87	25.46	20.55	9.51	1.31	0.65	1.08	109.32
1963	1.72	2.41	4.08	11.14	13.54	17.87	25.46	20.55	9.51	1.31	0.65	1.08	109.32
1964	1.72	2.41	4.08	11.14	13.54	17.87	25.46	20.55	9.51	1.31	0.65	1.08	109.32
1965	1.72	2.41	4.08	11.14	13.54	17.87	25.46	20.55	9.51	1.31	0.65	1.08	109.32
1966	1.72	2.41	4.08	11.14	13.54	17.87	25.46	20.55	9.51	1.31	0.65	1.08	109.32
1967	1.72	2.41	4.08	11.14	13.54	17.87	25.46	20.55	9.51	1.31	0.65	1.08	109.32
1968	1.72	2.41	4.08	11.14	13.54	17.87	25.46	20.55	9.51	1.31	0.65	1.08	109.32
1969	1.72	2.41	4.08	11.14	13.54	17.87	25.46	20.55	9.51	1.31	0.65	1.08	109.32
1970	1.72	2.41	4.08	11.14	13.54	17.87	25.46	20.55	9.51	1.31	0.65	1.08	109.32
1971	1.72	2.41	4.08	11.14	13.54	17.87	25.46	20.55	9.51	1.31	0.65	1.08	109.32
1972	1.72	2.41	4.08	11.14	13.54	17.87	25.46	20.55	9.51	1.31	0.65	1.08	109.32
1973	1.72	2.41	4.08	11.14	13.54	17.87	25.46	20.55	9.51	1.31	0.65	1.08	109.32
1974	1.72	2.41	4.08	11.14	13.54	17.87	25.46	20.55	9.51	1.31	0.65	1.08	109.32
1975	1.72	2.41	4.08	11.14	13.54	17.87	25.46	20.55	9.51	1.31	0.65	1.08	109.32
1976	1.72	2.41	4.08	11.14	13.54	17.87	25.46	20.55	9.51	1.31	0.65	1.08	109.32
1977	1.72	2.41	4.08	11.14	13.54	17.87	25.46	20.55	9.51	1.31	0.65	1.08	109.32
1978	1.72	2.41	4.08	11.14	13.54	17.87	25.46	20.55	9.51	1.31	0.65	1.08	109.32
1979	1.72	2.41	4.08	11.14	13.54	17.87	25.46	20.55	9.51	1.31	0.65	1.08	109.32
1980	1.72	2.41	4.08	11.14	13.54	17.87	25.46	20.55	9.51	1.31	0.65	1.08	109.32
1981	1.72	2.41	4.08	11.14	13.54	17.87	25.46	20.55	9.51	1.31	0.65	1.08	109.32
1982	1.72	2.41	4.08	11.14	13.54	17.87	25.46	20.55	9.51	1.31	0.65	1.08	109.32
1983	1.72	2.41	4.08	11.14	13.54	17.87	25.46	20.55	9.51	1.31	0.65	1.08	109.32
1984	1.72	2.41	4.08	11.14	13.54	17.87	25.46	20.55	9.51	1.31	0.65	1.08	109.32
1985	1.72	2.41	4.08	11.14	13.54	17.87	25.46	20.55	9.51	1.31	0.65	1.08	109.32
1986	1.72	2.41	4.08	11.14	13.54	17.87	25.46	20.55	9.51	1.31	0.65	1.08	109.32
1987	1.72	2.41	4.08	11.14	13.54	17.87	25.46	20.55	9.51	1.31	0.65	1.08	109.32
1988	1.72	2.41	4.08	11.14	13.54	17.87	25.46	20.55	9.51	1.31	0.65	1.08	109.32
1989	1.72	2.41	4.08	11.14	13.54	17.87	25.46	20.55	9.51	1.31	0.65	1.08	109.32
1990	1.72	2.41	4.08	11.14	13.54	17.87	25.46	20.55	9.51	1.31	0.65	1.08	109.32
1991	1.72	2.41	4.08	11.14	13.54	17.87	25.46	20.55	9.51	1.31	0.65	1.08	109.32
1992	1.72	2.41	4.08	11.14	13.54	17.87	25.46	20.55	9.51	1.31	0.65	1.08	109.32
1993	1.72	2.41	4.08	11.14	13.54	17.87	25.46	20.55	9.51	1.31	0.65	1.08	109.32
1994	1.72	2.41	4.08	11.14	13.54	17.87	25.46	20.55	9.51	1.31	0.65	1.08	109.32
1995	1.72	2.41	4.08	11.14	13.54	17.87	25.46	20.55	9.51	1.31	0.65	1.08	109.32
1996	1.72	2.41	4.08	11.14	13.54	17.87	25.46	20.55	9.51	1.31	0.65	1.08	109.32
1997	1.72	2.41	4.08	11.14	13.54	17.87	25.46	20.55	9.51	1.31	0.65	1.08	109.32
1998	1.72	2.41	4.08	11.14	13.54	17.87	25.46	20.55	9.51	1.31	0.65	1.08	109.32
1999	1.72	2.41	4.08	11.14	13.54	17.87	25.46	20.55	9.51	1.31	0.65	1.08	109.32
2000	1.72	2.41	4.08	11.14	13.54	17.87	25.46	20.55	9.51	1.31	0.65	1.08	109.32
2001	1.72	2.41	4.08	11.14	13.54	17.87	25.46	20.55	9.51	1.31	0.65	1.08	109.32
2002	1.72	2.41	4.08	11.14	13.54	17.87	25.46	20.55	9.51	1.31	0.65	1.08	109.32
2003	1.72	2.41	4.08	11.14	13.54	17.87	25.46	20.55	9.51	1.31	0.65	1.08	109.32
2004	1.72	2.41	4.08	11.14	13.54	17.87	25.46	20.55	9.51	1.31	0.65	1.08	109.32
2005	1.72	2.41	4.08	11.14	13.54	17.87	25.46	20.55	9.51	1.31	0.65	1.08	109.32
2006	1.72	2.41	4.08	11.14	13.54	17.87	25.46	20.55	9.51	1.31	0.65	1.08	109.32
ΜΕΣΟ	1.72	2.41	4.08	11.14	13.54	17.87	25.46	20.55	9.51	1.31	0.65	1.08	109.32



## Σμόκοβο

ΕΤΟΣ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΑΘΡ.ΕΤΟΣ
1960	42.80	37.20	32.80	23.10	11.30	0.20	0.00	0.00	0.00	5.30	15.30	34.70	147.40
1961	42.10	55.80	52.10	28.20	11.00	0.80	0.00	0.00	1.00	6.00	13.30	43.60	191.00
1962	117.50	130.80	133.00	69.20	48.40	18.40	4.40	2.20	0.90	29.30	115.00	153.90	524.80
1963	62.10	60.50	71.30	38.80	29.20	9.00	2.50	0.90	0.00	33.00	33.50	51.10	274.30
1964	42.00	46.30	42.10	29.40	14.10	1.70	0.00	0.00	0.00	3.70	11.20	36.70	175.60
1965	76.40	50.50	51.50	31.00	17.60	5.80	0.00	0.00	0.00	1.90	24.30	35.00	232.80
1966	48.60	44.40	33.6	27.20	21.30	3.90	0.10	0.00	0.00	1.40	39.10	41.90	145.50
1967	47.50	45.70	37.80	25.70	16.10	4.90	0.00	0.00	0.00	6.70	23.80	41.00	177.70
1968	98.60	79.60	113.90	57.50	23.30	10.90	1.30	0.00	0.40	10.90	22.50	81.30	385.50
1969	79.30	57.30	54.50	28.60	18.20	4.60	0.00	0.00	0.00	2.90	15.70	58.10	242.50
1970	44.50	49.40	67.90	48.20	16.40	1.00	0.00	0.00	0.00	1.80	4.40	24.40	227.40
1971	25.70	49.60	38.90	48.90	24.30	7.30	0.00	1.00	0.00	1.90	5.70	10.70	195.70
1972	47.20	48.20	65.70	46.00	16.50	1.00	0.00	0.00	0.00	22.90	22.20	27.40	224.60
1973	48.90	77.10	58.00	59.40	34.00	14.10	0.70	0.00	0.00	6.10	19.50	45.90	292.20
1974	12.40	26.80	17.90	11.80	7.60	15.50	0.10	0.00	0.00	2.30	4.90	13.80	92.10
1975	33.80	53.80	48.00	35.10	16.80	1.90	0.50	0.00	0.00	1.70	7.00	25.30	189.90
1976	19.30	13.10	5.10	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.20	6.70	19.40	37.70
1977	61.00	53.60	45.10	33.90	14.40	0.00	0.00	0.00	1.00	0.30	0.60	28.70	209.00
1978	51.30	56.60	36.10	38.60	32.70	7.60	0.00	0.00	0.00	7.80	10.90	28.70	222.90
1979	96.80	94.30	103.00	52.40	38.20	12.60	0.00	0.00	0.00	17.30	51.00	68.30	397.30
1980	120.00	76.70	47.60	31.90	11.60	0.00	0.00	0.00	0.00	16.00	26.00	47.20	287.80
1981	32.10	61.50	72.80	67.00	54.50	14.90	0.30	0.00	0.60	3.10	12.40	28.70	303.70
1982	36.50	41.80	25.00	6.30	1.80	0.40	0.00	0.00	0.00	9.60	33.10	39.50	111.80
1983	46.70	54.80	46.90	54.50	25.00	0.10	0.00	0.80	0.00	2.80	14.60	52.40	228.80
1984	61.60	49.40	55.30	32.70	15.70	0.00	0.00	0.00	0.00	3.00	5.60	20.30	214.70
1985	33.10	55.00	48.30	26.70	22.30	8.80	0.00	0.00	0.00	2.00	39.50	30.60	194.20
1986	45.30	41.40	78.30	58.70	30.90	2.80	0.00	0.00	0.00	16.00	18.50	28.60	257.40
1987	31.60	42.80	36.70	23.20	9.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.30	20.90	26.60	143.30
1988	24.20	28.50	37.90	17.20	8.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.90	28.40	31.40	116.60
1989	13.50	24.70	17.10	11.00	6.70	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	5.40	14.80	73.00
1990	94.30	73.50	58.70	65.30	42.00	5.00	0.00	0.00	0.00	0.20	9.60	66.50	338.80
1991	18.70	20.50	18.90	27.80	17.40	3.20	0.00	0.00	0.00	2.00	6.30	17.00	106.50
1992	20.50	69.40	42.80	27.20	19.10	4.70	0.00	0.00	0.00	0.50	3.10	15.00	183.70
1993	49.40	61.70	40.00	37.90	25.20	6.10	0.00	0.00	0.00	0.10	25.70	34.50	220.30
1994	50.50	36.40	39.40	23.40	8.00	0.00	0.10	0.00	0.90	56.20	45.60	50.70	158.70
1995	48.93	52.27	50.53	33.46	19.30	5.44	0.74	0.28	0.88	8.13	8.13	8.13	211.82
1996	48.93	52.27	50.53	33.46	19.30	5.44	0.74	0.28	0.88	8.13	8.13	8.13	211.82
1997	48.93	52.27	50.53	33.46	19.30	5.44	0.74	0.28	0.88	8.13	8.13	8.13	211.82
1998	48.93	52.27	50.53	33.46	19.30	5.44	0.74	0.28	0.88	8.13	8.13	8.13	211.82
1999	48.93	52.27	50.53	33.46	19.30	5.44	0.74	0.28	0.88	8.13	8.13	8.13	211.82
2000	48.93	52.27	50.53	33.46	19.30	5.44	0.74	0.28	0.88	8.13	8.13	8.13	211.82
2001	48.93	52.27	50.53	33.46	19.30	5.44	0.74	0.28	0.88	8.13	8.13	8.13	211.82
2002	104.30	84.60	91.40	35.30	14.20	9.50	0.00	0.00	29.70	4.00	12.70	64.40	369.00
2003	50.30	39.30	50.70	27.40	28.90	21.10	3.70	0.00	0.00	25.90	12.80	29.30	221.40
2004	4.00	27.80	45.30	9.60	4.20	3.20	9.00	5.50	0.00	8.70	8.00	12.80	108.60
2005	19.70	64.80	33.20	11.70	13.10	13.60	6.70	0.90	0.00	1.60	1.20	14.10	163.70
2006	2.90	5.50	9.70	10.20	2.00	3.10	0.00	0.00	0.88	0.00	1.60	1.80	34.28
ΜΕΣΗ Τ	48.93	52.27	50.53	33.46	19.30	5.44	0.74	0.28	0.88	8.13	19.44	37.40	276.79

Πίνακας 59: Απορροή Σμοκόβου [hm<sup>3</sup>]

ΕΤΟΣ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΑΘΡ. ΕΤΟΥΣ
1968	16.64	37.85	73.35	119.2	161.03	169.15	205.21	185.36	125.51	59.7	27.41	30.88	1211.29
1969	18.476	33.51	49.88	110.02	266.85	194.06	201.36	189.41	111.19	59.51	29.03	17.5	1280.80
1970	24.35	36.76	67.56	117.74	147.82	199.37	207.95	197	119.01	60.61	28.8	17.27	1224.24
1971	24.05	33	61.53	95.21	164.17	202.44	179.41	184.29	103.99	60.48	30.12	16.36	1155.05
1972	21.26	29.48	73.6	100.83	162.03	201.69	183.29	162.33	100.77	49.26	30.81	18.84	1134.19
1973	21.74	35.05	57.26	112.61	165.96	185.08	201.34	164.2	117.57	59.13	26.34	15.5	1161.78
1974	22.29	32.35	62.46	85.53	155.22	189.86	215.1	181.94	118.25	64.85	27.68	15.36	1170.89
1975	21.94	32.87	74.78	118	150.9	186.6	204.49	165.27	131.01	62.01	46	15.44	1209.31
1976	24.41	32.09	58.85	109.68	136.19	133.18	188.65	160.43	117.06	60.86	28.95	19.82	1070.17
1977	25.42	44.95	78.47	116.81	161.26	203.81	220.17	186.89	109.37	62.01	30.29	17.8	1257.25
1978	21.33	37.41	75.64	95.76	153.24	210.48	214.09	178.58	110.02	58.3	26.07	21.11	1202.03
1979	23.57	33.28	76.33	95.02	161.66	193.2	199.16	171.82	119.55	52.37	29.72	19.98	1175.66
1980	21.99	34.4	64.91	104.37	133.14	193.07	217.86	176.36	119.47	63.01	31.53	20.61	1180.72
1981	21.93	35.09	78.74	115.49	146.91	210.06	207.09	178.7	121.64	72.75	27.24	20.93	1236.57
1982	24.16	31.64	66.66	94.64	142.64	213.24	206.15	178.04	124.49	59.11	25.41	19.95	1186.13
1983	24.01	34.84	77.12	131.24	174.71	167.7	191.31	166.82	118.4	64.25	27.03	17.76	1195.19
1984	22.4	29.47	62.62	85.83	166.54	206.69	214.05	156.7	124.83	71.7	30.01	18.33	1189.17
1985	22.69	34.59	57.79	120.96	156.03	209.27	221.38	193.52	127.69	60.88	29.52	18.83	1253.15
1986	25.22	30.72	54.9	129.91	149.51	188.42	200.54	188.57	122.62	61.41	25.76	13.24	1190.82
1987	24.73	32.29	49.24	107.62	151	201.24	210.35	178.23	135.31	51.34	25.8	16.4	1183.55
1988	20.83	34.75	70.93	100.03	161.09	196.05	233.37	190.9	120.77	60.02	22.7	14.21	1225.65
1989	19.14	36.4	74.78	127.93	152.95	189.28	192.33	184.69	119.71	59.84	27.35	15.3	1199.70
1990	22.39	34.22	66.70	108.84	160.04	192.91	205.21	178.18	119.01	60.61	28.80	18.25	1195.15
1991	22.39	34.22	66.70	108.84	160.04	192.91	205.21	178.18	119.01	60.61	28.80	18.25	1195.15
1992	22.39	34.22	66.70	108.84	160.04	192.91	205.21	178.18	119.01	60.61	28.80	18.25	1195.15
1993	22.39	34.22	66.70	108.84	160.04	192.91	205.21	178.18	119.01	60.61	28.80	18.25	1195.15
1994	22.39	34.22	66.70	108.84	160.04	192.91	205.21	178.18	119.01	60.61	28.80	18.25	1195.15
ΜΕΣΟ	22.39	34.22	66.70	108.84	160.04	192.91	205.21	178.18	119.01	60.61	28.80	18.25	1195.15

Πίνακας 60: Εξάτμιση [mm]

ΕΤΟΣ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΑΘΡ.ΕΤΟΣ
1968	0.00	0.00	0.00	4.24	9.32	19.99	25.58	22.36	3.22	0.00	0.00	0.00	84.71
1969	0.00	0.00	0.00	4.24	9.32	19.99	25.58	22.36	3.22	0.00	0.00	0.00	84.71
1970	0.00	0.00	0.00	4.24	9.32	19.99	25.58	22.36	3.22	0.00	0.00	0.00	84.71
1971	0.00	0.00	0.00	4.24	9.32	19.99	25.58	22.36	3.22	0.00	0.00	0.00	84.71
1972	0.00	0.00	0.00	4.24	9.32	19.99	25.58	22.36	3.22	0.00	0.00	0.00	84.71
1973	0.00	0.00	0.00	4.24	9.32	19.99	25.58	22.36	3.22	0.00	0.00	0.00	84.71
1974	0.00	0.00	0.00	4.24	9.32	19.99	25.58	22.36	3.22	0.00	0.00	0.00	84.71
1975	0.00	0.00	0.00	4.24	9.32	19.99	25.58	22.36	3.22	0.00	0.00	0.00	84.71
1976	0.00	0.00	0.00	4.24	9.32	19.99	25.58	22.36	3.22	0.00	0.00	0.00	84.71
1977	0.00	0.00	0.00	4.24	9.32	19.99	25.58	22.36	3.22	0.00	0.00	0.00	84.71
1978	0.00	0.00	0.00	4.24	9.32	19.99	25.58	22.36	3.22	0.00	0.00	0.00	84.71
1979	0.00	0.00	0.00	4.24	9.32	19.99	25.58	22.36	3.22	0.00	0.00	0.00	84.71
1980	0.00	0.00	0.00	4.24	9.32	19.99	25.58	22.36	3.22	0.00	0.00	0.00	84.71
1981	0.00	0.00	0.00	4.24	9.32	19.99	25.58	22.36	3.22	0.00	0.00	0.00	84.71
1982	0.00	0.00	0.00	4.24	9.32	19.99	25.58	22.36	3.22	0.00	0.00	0.00	84.71
1983	0.00	0.00	0.00	4.24	9.32	19.99	25.58	22.36	3.22	0.00	0.00	0.00	84.71
1984	0.00	0.00	0.00	4.24	9.32	19.99	25.58	22.36	3.22	0.00	0.00	0.00	84.71
1985	0.00	0.00	0.00	4.24	9.32	19.99	25.58	22.36	3.22	0.00	0.00	0.00	84.71
1986	0.00	0.00	0.00	4.24	9.32	19.99	25.58	22.36	3.22	0.00	0.00	0.00	84.71
1987	0.00	0.00	0.00	4.24	9.32	19.99	25.58	22.36	3.22	0.00	0.00	0.00	84.71
1988	0.00	0.00	0.00	4.24	9.32	19.99	25.58	22.36	3.22	0.00	0.00	0.00	84.71
1989	0.00	0.00	0.00	4.24	9.32	19.99	25.58	22.36	3.22	0.00	0.00	0.00	84.71
1990	0.00	0.00	0.00	4.24	9.32	19.99	25.58	22.36	3.22	0.00	0.00	0.00	84.71
1991	0.00	0.00	0.00	4.24	9.32	19.99	25.58	22.36	3.22	0.00	0.00	0.00	84.71
1992	0.00	0.00	0.00	4.24	9.32	19.99	25.58	22.36	3.22	0.00	0.00	0.00	84.71
1993	0.00	0.00	0.00	4.24	9.32	19.99	25.58	22.36	3.22	0.00	0.00	0.00	84.71
1994	0.00	0.00	0.00	4.24	9.32	19.99	25.58	22.36	3.22	0.00	0.00	0.00	84.71
ΜΕΣΟ	0.00	0.00	0.00	4.24	9.32	19.99	25.58	22.36	3.22	0.00	0.00	0.00	84.71

Πίνακας 61: Άρδευση [hm<sup>3</sup>]





## Κάρλα

ΕΤΟΣ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΑΘΡ.ΕΤΟΣ
1960	12.68	12.34	12.49	9.20	6.14	3.54	2.67	1.80	3.05	1.22	1.67	6.01	72.82
1961	3.90	3.97	10.58	4.71	3.09	2.36	2.22	1.31	1.23	3.30	3.06	7.46	47.19
1962	5.71	7.43	5.75	3.36	2.94	1.65	1.87	1.04	14.34	24.05	30.86	48.31	147.31
1963	44.00	25.28	21.13	10.38	4.45	2.85	2.43	1.71	1.49	9.56	8.74	9.74	141.76
1964	9.28	6.16	13.00	10.85	4.73	3.99	2.65	1.66	4.00	2.97	3.29	8.34	70.90
1965	11.66	9.83	9.60	7.22	4.33	3.47	4.45	1.85	1.19	2.16	3.05	4.05	62.86
1966	11.54	5.18	7.29	4.06	5.39	3.20	1.53	1.42	1.31	3.05	8.23	12.74	64.95
1967	6.81	7.04	7.83	5.37	5.97	2.72	3.31	2.29	5.88	4.61	9.69	10.41	71.93
1968	10.82	8.27	10.63	7.70	7.62	3.43	1.78	1.39	3.52	8.44	11.38	13.05	88.05
1969	19.67	20.72	18.45	12.03	3.02	2.26	1.53	1.15	1.98	1.66	2.27	7.21	91.95
1970	6.20	8.45	8.20	3.81	7.34	3.46	1.95	1.37	1.32	2.08	1.86	2.72	48.78
1971	5.88	9.92	11.43	4.57	3.28	2.59	3.84	1.93	2.63	5.09	2.36	5.35	58.87
1972	9.34	10.24	8.70	10.10	4.88	2.84	9.22	3.61	2.90	13.97	8.75	5.16	89.71
1973	11.94	14.23	18.83	12.85	2.96	2.01	2.88	2.08	4.02	8.63	6.60	8.75	95.78
1974	10.07	19.38	21.96	14.08	6.55	3.58	1.93	1.27	1.81	2.09	3.70	3.54	89.95
1975	6.70	11.34	6.08	5.33	4.02	10.47	3.53	2.53	1.99	3.12	5.39	6.96	67.45
1976	9.74	13.52	7.66	6.53	9.82	3.75	3.76	2.69	2.10	3.35	5.35	5.09	73.36
1977	4.20	5.61	5.40	3.54	3.16	1.87	1.32	1.26	2.05	2.31	3.84	11.63	46.20
1978	13.92	6.69	6.18	5.96	4.31	2.55	1.69	1.11	23.21	30.63	24.97	17.58	138.81
1979	26.25	27.37	13.97	4.49	9.27	3.43	2.24	2.24	1.71	7.80	20.65	22.91	142.33
1980	27.90	21.41	23.02	17.63	7.41	3.94	2.26	1.83	2.20	11.18	8.26	9.16	136.20
1981	37.06	37.29	11.79	4.29	3.38	2.86	2.20	1.91	1.28	3.51	3.42	10.46	119.45
1982	6.10	18.15	23.05	24.86	33.02	19.26	2.74	2.65	1.75	4.71	11.73	10.70	158.71
1983	6.89	10.99	12.32	5.94	3.09	4.04	7.01	2.55	1.60	2.29	3.03	18.20	77.94
1984	8.01	11.49	21.35	24.16	12.85	2.94	1.88	2.54	1.30	2.43	3.81	10.22	102.98
1985	11.23	5.88	8.45	4.54	3.06	2.29	1.55	1.07	0.98	3.18	12.09	6.66	60.98
1986	6.37	12.84	12.20	7.72	4.17	4.10	2.31	1.80	1.39	7.78	8.33	7.14	76.16
1987	8.29	11.87	34.34	38.77	10.82	2.69	1.90	1.78	1.15	4.30	9.71	9.16	134.78
1988	7.31	8.05	10.40	6.88	3.33	2.39	1.45	1.13	1.00	2.70	6.42	12.15	63.21
1989	5.92	4.26	12.26	5.16	3.89	2.78	3.10	1.89	1.32	2.88	4.26	11.51	59.24
1990	5.31	4.20	3.95	3.03	3.47	2.20	2.96	3.06	1.81	2.67	8.15	14.49	55.29
1991	10.74	8.86	8.68	16.05	16.92	3.74	3.66	2.82	3.21	2.88	6.46	8.77	92.78
1992	5.10	5.67	6.30	8.39	5.77	4.60	2.80	1.26	0.86	2.68	3.08	7.46	53.97
1993	6.80	8.18	6.52	3.32	6.49	2.22	1.11	1.18	0.76	1.31	5.76	5.42	49.07
1994	12.37	12.28	7.26	6.94	7.35	2.89	2.83	1.79	1.08	12.37	10.60	9.12	86.89
1995	16.79	12.89	12.43	8.59	3.10	3.12	3.26	1.73	2.05	2.27	2.76	10.56	79.55
1996	11.26	13.63	18.17	13.04	3.98	2.04	1.85	1.72	2.93	5.13	4.72	10.37	88.83
1997	9.54	6.36	7.95	7.95	4.30	2.72	1.64	2.39	1.08	4.03	2.80	10.47	61.23
1998	6.91	10.84	12.30	7.38	10.28	3.65	1.73	1.37	1.98	2.15	9.08	11.91	79.58
1999	14.21	21.82	30.21	16.59	3.30	2.09	1.53	1.27	1.93	4.59	7.48	10.31	115.34
2000	8.10	10.45	9.56	5.02	3.58	2.28	1.48	1.13	1.43	3.75	2.70	2.82	52.31
2001	9.13	6.12	3.30	6.44	7.92	2.71	1.85	1.57	0.84	1.49	2.50	7.94	51.80
2002	5.96	4.85	9.61	8.37	3.52	1.67	4.25	1.68	7.11	15.63	8.86	30.58	102.09
2003	53.46	34.72	14.26	9.52	5.77	3.68	3.15	1.74	2.16	8.50	4.36	9.46	150.79
2004	19.08	10.05	10.77	10.13	7.41	8.97	3.50	1.90	2.18	4.36	4.54	7.61	90.50
2005	7.81	9.50	11.84	5.03	3.71	2.16	2.21	1.67	3.09	2.03	3.81	9.65	62.52
2006	27.83	24.46	19.63	10.69	3.26	2.29	2.67	1.62	13.24	25.77	17.60	11.01	160.08
ΜΕΣΗ Γ	12.68	12.34	12.49	9.20	6.14	3.54	2.67	1.80	3.05	6.10	7.28	10.65	87.94

Πίνακας 64: Λεκάνη Απορροής Κάρλας [hm<sup>3</sup>]

ΕΤΟΣ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΑΘΡ.ΕΤΟΥΣ
1960	28.68	28.34	28.49	25.20	22.14	19.54	18.67	17.80	19.05	17.22	17.67	22.01	264.82
1961	19.90	19.97	26.58	20.71	19.09	18.36	18.22	17.31	17.23	19.30	19.06	23.46	239.19
1962	21.71	23.43	21.75	19.36	18.94	17.65	17.87	17.04	30.34	40.05	46.86	64.31	339.31
1963	60.00	41.28	37.13	26.38	20.45	18.85	18.43	17.71	17.49	25.56	24.74	25.74	333.76
1964	25.28	22.16	29.00	26.85	20.73	19.99	18.65	17.66	20.00	18.97	19.29	24.34	262.90
1965	27.66	25.83	25.60	23.22	20.33	19.47	20.45	17.85	17.19	18.16	19.05	20.05	254.86
1966	27.54	21.18	23.29	20.06	21.39	19.20	17.53	17.42	17.31	19.05	24.23	28.74	256.95
1967	22.81	23.04	23.83	21.37	21.97	18.72	19.31	18.29	21.88	20.61	25.69	26.41	263.93
1968	26.82	24.27	26.63	23.70	23.62	19.43	17.78	17.39	19.52	24.44	27.38	29.05	280.05
1969	35.67	36.72	34.45	28.03	19.02	18.26	17.53	17.15	17.98	17.66	18.27	23.21	283.95
1970	22.20	24.45	24.20	19.81	23.34	19.46	17.95	17.37	17.32	18.08	17.86	18.72	240.78
1971	21.88	25.92	27.43	20.57	19.28	18.59	19.84	17.93	18.63	21.09	18.36	21.35	250.87
1972	25.34	26.24	24.70	26.10	20.88	18.84	25.22	19.61	18.90	29.97	24.75	21.16	281.71
1973	27.94	30.23	34.83	28.85	18.96	18.01	18.88	18.08	20.02	24.63	22.60	24.75	287.78
1974	26.07	35.38	37.96	30.08	22.55	19.58	17.93	17.27	17.81	18.09	19.70	19.54	281.95
1975	22.70	27.34	22.08	21.33	20.02	26.47	19.53	18.53	17.99	19.12	21.39	22.96	259.45
1976	25.74	29.52	23.66	22.53	25.82	19.75	19.76	18.69	18.10	19.35	21.35	21.09	265.36
1977	20.20	21.61	21.40	19.54	19.16	17.87	17.32	17.26	18.05	18.31	19.84	27.63	238.20
1978	29.92	22.69	22.18	21.96	20.31	18.55	17.69	17.11	39.21	46.63	40.97	33.58	330.81
1979	42.25	43.37	29.97	20.49	25.27	19.43	18.24	18.24	17.71	23.80	36.65	38.91	334.33
1980	43.90	37.41	39.02	33.63	23.41	19.94	18.26	17.83	18.20	27.18	24.26	25.16	328.20
1981	53.06	53.29	27.79	20.29	19.38	18.86	18.20	17.91	17.28	19.51	19.42	26.46	311.45
1982	22.10	34.15	39.05	40.86	49.02	35.26	18.74	18.65	17.75	20.71	27.73	26.70	350.71
1983	22.89	26.99	28.32	21.94	19.09	20.04	23.01	18.55	17.60	18.29	19.03	34.20	269.94
1984	24.01	27.49	37.35	40.16	28.85	18.94	17.88	18.54	17.30	18.43	19.81	26.22	294.98
1985	27.23	21.88	24.45	20.54	19.06	18.29	17.55	17.07	16.98	19.18	28.09	22.66	252.98
1986	22.37	28.84	28.20	23.72	20.17	20.10	18.31	17.80	17.39	23.78	24.33	23.14	268.16
1987	24.29	27.87	50.34	54.77	26.82	18.69	17.90	17.78	17.15	20.30	25.71	25.16	326.78
1988	23.31	24.05	26.40	22.88	19.33	18.39	17.45	17.13	17.00	18.70	22.42	28.15	255.21
1989	21.92	20.26	28.26	21.16	19.89	18.78	19.10	17.89	17.32	18.88	20.26	27.51	251.24
1990	21.31	20.20	19.95	19.03	19.47	18.20	18.96	19.06	17.81	18.67	24.15	30.49	247.29
1991	26.74	24.86	24.68	32.05	32.92	19.74	19.66	18.82	19.21	18.88	22.46	24.77	284.78
1992	21.10	21.67	22.30	24.39	21.77	20.60	18.80	17.26	16.86	18.68	19.08	23.46	245.97
1993	22.80	24.18	22.52	19.32	22.49	18.22	17.11	17.18	16.76	17.31	21.76	21.42	241.07
1994	28.37	28.28	23.26	22.94	23.35	18.89	18.83	17.79	17.08	28.37	26.60	25.12	278.89
1995	32.79	28.89	28.43	24.59	19.10	19.12	19.26	17.73	18.05	18.27	18.76	26.56	271.55
1996	27.26	29.63	34.17	29.04	19.98	18.04	17.85	17.72	18.93	21.13	20.72	26.37	280.83
1997	25.54	22.36	23.95	23.95	20.30	18.72	17.64	18.39	17.08	20.03	18.80	26.47	253.23
1998	22.91	26.84	28.30	23.38	26.28	19.65	17.73	17.37	17.98	18.15	25.08	27.91	271.58
1999	30.21	37.82	46.21	32.59	19.30	18.09	17.53	17.27	17.93	20.59	23.48	26.31	307.34
2000	24.10	26.45	25.56	21.02	19.58	18.28	17.48	17.13	17.43	19.75	18.70	18.82	244.31
2001	25.13	22.12	19.30	22.44	23.92	18.71	17.85	17.57	16.84	17.49	18.50	23.94	243.80
2002	21.96	20.85	25.61	24.37	19.52	17.67	20.25	17.68	23.11	31.63	24.86	46.58	294.09
2003	69.46	50.72	30.26	25.52	21.77	19.68	19.15	17.74	18.16	24.50	20.36	25.46	342.79
2004	35.08	26.05	26.77	26.13	23.41	24.97	19.50	17.90	18.18	20.36	20.54	23.61	282.50
2005	23.81	25.50	27.84	21.03	19.71	18.16	18.21	17.67	19.09	18.03	19.81	25.65	254.52
2006	43.83	40.46	35.63	26.69	19.26	18.29	18.67	17.62	29.24	41.77	33.60	27.01	352.08
ΜΕΣΟ	28.68	28.34	28.49	25.20	22.14	19.54	18.67	17.80	19.05	22.10	23.28	26.65	279.94

Πίνακας 65: Απορροή στην Κάρλα [hm<sup>3</sup>] – Σενάριο 1

ΕΤΟΣ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΑΘΡ.ΕΤΟΥΣ
1960	10.40	10.49	10.38	7.75	4.42	2.67	1.65	1.16	1.46	0.10	0.32	1.01	51.81
1961	1.78	2.78	7.68	3.61	1.90	1.51	1.17	0.87	0.63	0.73	1.02	4.73	28.42
1962	4.48	5.59	4.23	2.48	1.85	1.40	1.01	0.75	5.91	18.51	27.31	43.34	116.86
1963	41.52	23.16	19.04	9.36	2.72	2.15	1.57	1.15	0.86	4.37	6.21	7.16	119.29
1964	7.35	5.17	10.60	10.00	2.81	2.32	1.81	1.31	1.22	1.35	1.42	5.82	51.18
1965	8.93	7.78	7.48	5.67	3.02	2.16	2.20	1.55	1.00	0.82	0.98	2.42	44.00
1966	8.37	4.31	5.34	2.91	3.35	1.95	1.17	0.81	0.61	0.68	4.00	9.28	42.78
1967	5.71	5.67	6.03	4.02	3.93	2.37	1.59	1.30	1.85	2.79	6.84	7.95	50.03
1968	8.48	6.71	8.69	6.70	4.95	2.78	1.53	1.04	1.00	4.45	8.06	9.81	64.19
1969	16.58	19.16	16.02	11.08	2.39	1.77	1.22	0.83	0.70	0.70	0.77	3.06	74.29
1970	4.72	6.31	6.26	3.04	4.57	2.49	1.36	0.94	0.68	0.63	0.71	0.94	32.62
1971	3.74	7.30	8.66	3.57	1.92	1.55	1.39	1.23	1.04	2.35	1.64	3.64	38.02
1972	6.88	7.65	6.67	7.45	3.65	2.08	4.44	2.67	1.63	8.85	6.84	4.31	63.10
1973	9.47	12.77	16.62	11.86	2.45	1.77	1.34	1.10	1.13	4.96	4.86	6.42	74.74
1974	7.80	16.35	19.95	11.78	5.34	2.29	1.71	1.15	0.84	0.79	1.04	1.87	70.91
1975	5.06	8.69	4.81	3.84	2.61	6.51	2.98	1.35	1.12	1.07	2.82	5.02	45.87
1976	7.41	10.39	6.27	4.87	6.60	3.41	1.96	1.63	1.29	1.19	3.01	3.83	51.88
1977	3.35	4.02	3.99	2.45	1.70	1.30	0.91	0.64	0.59	0.72	1.07	7.80	28.55
1978	10.52	5.61	4.52	4.45	2.91	2.05	1.43	0.96	13.16	26.03	23.65	15.41	110.70
1979	23.75	24.99	12.85	3.30	6.22	3.20	1.63	1.21	0.96	3.21	14.59	19.82	115.72
1980	25.84	19.61	20.29	15.70	5.15	3.08	2.01	1.38	1.07	5.53	5.82	6.91	112.40
1981	30.61	35.78	10.07	3.66	2.42	1.94	1.45	1.09	0.82	0.88	1.27	7.09	97.09
1982	5.18	13.99	20.59	21.62	28.05	18.55	1.97	1.50	1.15	1.44	8.13	8.21	130.38
1983	5.72	9.05	10.58	5.08	2.29	1.89	3.78	2.13	1.17	0.99	1.15	12.00	55.83
1984	6.93	9.78	18.91	21.34	11.99	2.16	1.58	1.22	0.99	0.86	1.16	7.28	84.20
1985	8.65	5.08	6.25	3.51	2.21	1.67	1.19	0.82	0.58	0.68	6.95	5.37	42.97
1986	5.00	9.87	10.67	7.04	2.52	2.43	1.76	1.21	0.89	3.29	6.10	5.56	56.34
1987	6.43	9.56	29.35	35.57	9.54	2.28	1.62	1.14	0.83	0.99	6.17	7.09	110.58
1988	5.79	6.38	8.42	5.88	2.53	1.89	1.30	0.86	0.61	0.65	2.40	8.51	45.23
1989	5.19	3.59	9.25	4.33	2.35	1.90	1.52	1.22	0.89	0.84	2.32	7.93	41.34
1990	4.62	3.42	2.86	2.07	1.79	1.44	1.18	1.13	1.01	0.96	5.20	10.48	36.16
1991	8.63	7.20	6.44	12.91	14.20	3.20	1.92	1.59	1.40	1.34	3.79	6.90	69.52
1992	4.24	4.50	4.77	6.08	3.81	2.52	1.62	1.08	0.71	0.69	0.96	4.98	35.95
1993	5.35	6.28	4.88	2.37	3.86	2.03	0.97	0.67	0.49	0.43	1.01	3.83	32.16
1994	9.00	9.81	5.83	5.03	5.25	2.74	1.64	1.27	0.89	6.09	7.75	6.94	62.23
1995	13.91	12.27	9.47	7.55	2.32	1.80	1.47	1.16	0.91	0.88	1.00	6.45	59.19
1996	8.52	10.66	15.76	12.06	2.45	1.86	1.27	0.93	0.88	1.60	3.13	7.42	66.54
1997	7.39	5.17	6.00	5.90	3.00	1.83	1.31	1.00	0.81	0.92	1.23	6.86	41.42
1998	5.62	7.96	9.82	6.72	6.24	3.26	1.55	1.02	0.79	0.77	3.56	8.76	56.08
1999	11.75	19.44	27.05	15.30	2.51	1.74	1.18	0.81	0.67	0.94	4.20	7.39	93.00
2000	6.48	8.06	7.84	4.12	2.26	1.72	1.18	0.80	0.60	0.77	1.05	1.21	36.07
2001	6.49	4.78	2.13	4.14	5.02	2.12	1.01	0.76	0.55	0.46	0.62	4.07	32.16
2002	4.62	3.74	6.72	6.00	2.67	1.43	1.27	1.20	2.91	10.78	6.98	25.22	73.55
2003	48.66	33.41	12.62	8.23	3.84	2.49	1.78	1.35	1.03	4.28	3.18	6.78	127.65
2004	14.37	9.08	8.81	8.41	5.14	5.97	2.99	1.59	1.19	1.25	2.84	5.53	67.16
2005	6.06	7.27	9.01	4.30	2.41	1.87	1.36	1.02	0.95	1.00	1.21	6.56	43.02
2006	21.57	22.57	17.37	9.21	2.71	1.85	1.41	1.09	6.22	19.77	16.33	9.60	129.70
ΜΕΣΟ	10.40	10.49	10.38	7.75	4.42	2.67	1.65	1.16	1.46	3.26	4.74	7.84	66.23

Πίνακας 66: Απορροή στην Κάρλα [hm<sup>3</sup>] – Σενάριο 2

ΕΤΟΣ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΑΘΡ.ΕΤΟΣ
1960	12.68	12.34	12.49	9.20	6.14	3.54	2.67	1.80	3.05	1.22	1.67	6.01	72.82
1961	3.90	3.97	10.58	4.71	3.09	2.36	2.22	1.31	1.23	3.30	3.06	7.46	47.19
1962	5.71	7.43	5.75	3.36	2.94	1.65	1.87	1.04	14.34	24.05	30.86	48.31	147.31
1963	44.00	25.28	21.13	10.38	4.45	2.85	2.43	1.71	1.49	9.56	8.74	9.74	141.76
1964	9.28	6.16	13.00	10.85	4.73	3.99	2.65	1.66	4.00	2.97	3.29	8.34	70.90
1965	11.66	9.83	9.60	7.22	4.33	3.47	4.45	1.85	1.19	2.16	3.05	4.05	62.86
1966	11.54	5.18	7.29	4.06	5.39	3.20	1.53	1.42	1.31	3.05	8.23	12.74	64.95
1967	6.81	7.04	7.83	5.37	5.97	2.72	3.31	2.29	5.88	4.61	9.69	10.41	71.93
1968	10.82	8.27	10.63	7.70	7.62	3.43	1.78	1.39	3.52	8.44	11.38	13.05	88.05
1969	19.67	20.72	18.45	12.03	3.02	2.26	1.53	1.15	1.98	1.66	2.27	7.21	91.95
1970	6.20	8.45	8.20	3.81	7.34	3.46	1.95	1.37	1.32	2.08	1.86	2.72	48.78
1971	5.88	9.92	11.43	4.57	3.28	2.59	3.84	1.93	2.63	5.09	2.36	5.35	58.87
1972	9.34	10.24	8.70	10.10	4.88	2.84	9.22	3.61	2.90	13.97	8.75	5.16	89.71
1973	11.94	14.23	18.83	12.85	2.96	2.01	2.88	2.08	4.02	8.63	6.60	8.75	95.78
1974	10.07	19.38	21.96	14.08	6.55	3.58	1.93	1.27	1.81	2.09	3.70	3.54	89.95
1975	6.70	11.34	6.08	5.33	4.02	10.47	3.53	2.53	1.99	3.12	5.39	6.96	67.45
1976	9.74	13.52	7.66	6.53	9.82	3.75	3.76	2.69	2.10	3.35	5.35	5.09	73.36
1977	4.20	5.61	5.40	3.54	3.16	1.87	1.32	1.26	2.05	2.31	3.84	11.63	46.20
1978	13.92	6.69	6.18	5.96	4.31	2.55	1.69	1.11	23.21	30.63	24.97	17.58	138.81
1979	26.25	27.37	13.97	4.49	9.27	3.43	2.24	2.24	1.71	7.80	20.65	22.91	142.33
1980	27.90	21.41	23.02	17.63	7.41	3.94	2.26	1.83	2.20	11.18	8.26	9.16	136.20
1981	37.06	37.29	11.79	4.29	3.38	2.86	2.20	1.91	1.28	3.51	3.42	10.46	119.45
1982	6.10	18.15	23.05	24.86	33.02	19.26	2.74	2.65	1.75	4.71	11.73	10.70	158.71
1983	6.89	10.99	12.32	5.94	3.09	4.04	7.01	2.55	1.60	2.29	3.03	18.20	77.94
1984	8.01	11.49	21.35	24.16	12.85	2.94	1.88	2.54	1.30	2.43	3.81	10.22	102.98
1985	11.23	5.88	8.45	4.54	3.06	2.29	1.55	1.07	0.98	3.18	12.09	6.66	60.98
1986	6.37	12.84	12.20	7.72	4.17	4.10	2.31	1.80	1.39	7.78	8.33	7.14	76.16
1987	8.29	11.87	34.34	38.77	10.82	2.69	1.90	1.78	1.15	4.30	9.71	9.16	134.78
1988	7.31	8.05	10.40	6.88	3.33	2.39	1.45	1.13	1.00	2.70	6.42	12.15	63.21
1989	5.92	4.26	12.26	5.16	3.89	2.78	3.10	1.89	1.32	2.88	4.26	11.51	59.24
1990	5.31	4.20	3.95	3.03	3.47	2.20	2.96	3.06	1.81	2.67	8.15	14.49	55.29
1991	10.74	8.86	8.68	16.05	16.92	3.74	3.66	2.82	3.21	2.88	6.46	8.77	92.78
1992	5.10	5.67	6.30	8.39	5.77	4.60	2.80	1.26	0.86	2.68	3.08	7.46	53.97
1993	6.80	8.18	6.52	3.32	6.49	2.22	1.11	1.18	0.76	1.31	5.76	5.42	49.07
1994	12.37	12.28	7.26	6.94	7.35	2.89	2.83	1.79	1.08	12.37	10.60	9.12	86.89
1995	16.79	12.89	12.43	8.59	3.10	3.12	3.26	1.73	2.05	2.27	2.76	10.56	79.55
1996	11.26	13.63	18.17	13.04	3.98	2.04	1.85	1.72	2.93	5.13	4.72	10.37	88.83
1997	9.54	6.36	7.95	7.95	4.30	2.72	1.64	2.39	1.08	4.03	2.80	10.47	61.23
1998	6.91	10.84	12.30	7.38	10.28	3.65	1.73	1.37	1.98	2.15	9.08	11.91	79.58
1999	14.21	21.82	30.21	16.59	3.30	2.09	1.53	1.27	1.93	4.59	7.48	10.31	115.34
2000	8.10	10.45	9.56	5.02	3.58	2.28	1.48	1.13	1.43	3.75	2.70	2.82	52.31
2001	9.13	6.12	3.30	6.44	7.92	2.71	1.85	1.57	0.84	1.49	2.50	7.94	51.80
2002	5.96	4.85	9.61	8.37	3.52	1.67	4.25	1.68	7.11	15.63	8.86	30.58	102.09
2003	53.46	34.72	14.26	9.52	5.77	3.68	3.15	1.74	2.16	8.50	4.36	9.46	150.79
2004	19.08	10.05	10.77	10.13	7.41	8.97	3.50	1.90	2.18	4.36	4.54	7.61	90.50
2005	7.81	9.50	11.84	5.03	3.71	2.16	2.21	1.67	3.09	2.03	3.81	9.65	62.52
2006	27.83	24.46	19.63	10.69	3.26	2.29	2.67	1.62	13.24	25.77	17.60	11.01	160.08
ΜΕΣΟ	12.68	12.34	12.49	9.20	6.14	3.54	2.67	1.80	3.05	6.10	7.28	10.65	87.94

Πίνακας 67: Απορροή στην Κάρλα [hm<sup>3</sup>] – Σενάριο 3

ΕΤΟΣ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΑΘΡ.ΕΤΟΣ
1960	0.03	0.04	0.08	0.13	0.19	0.25	0.28	0.24	0.16	0.08	0.03	0.02	1.52
1961	0.03	0.04	0.08	0.13	0.19	0.25	0.28	0.24	0.16	0.08	0.03	0.02	1.52
1962	0.03	0.04	0.08	0.13	0.19	0.25	0.28	0.24	0.16	0.08	0.03	0.02	1.52
1963	0.03	0.04	0.08	0.13	0.19	0.25	0.28	0.24	0.16	0.08	0.03	0.02	1.52
1964	0.03	0.04	0.08	0.13	0.19	0.25	0.28	0.24	0.16	0.08	0.03	0.02	1.52
1965	0.03	0.04	0.08	0.13	0.19	0.25	0.28	0.24	0.16	0.08	0.03	0.02	1.52
1966	0.03	0.04	0.08	0.13	0.19	0.25	0.28	0.24	0.16	0.08	0.03	0.02	1.52
1967	0.03	0.04	0.08	0.13	0.19	0.25	0.28	0.24	0.16	0.08	0.03	0.02	1.52
1968	0.02	0.05	0.08	0.14	0.18	0.21	0.29	0.23	0.16	0.08	0.04	0.02	1.50
1969	0.03	0.04	0.07	0.13	0.21	0.24	0.26	0.24	0.15	0.09	0.04	0.02	1.52
1970	0.03	0.05	0.08	0.14	0.18	0.24	0.27	0.25	0.16	0.08	0.03	0.02	1.52
1971	0.03	0.04	0.07	0.12	0.20	0.26	0.24	0.25	0.14	0.08	0.04	0.02	1.48
1972	0.03	0.04	0.09	0.12	0.19	0.25	0.25	0.22	0.14	0.07	0.03	0.02	1.44
1973	0.02	0.04	0.07	0.13	0.21	0.24	0.28	0.23	0.16	0.08	0.03	0.02	1.53
1974	0.03	0.04	0.08	0.11	0.20	0.25	0.30	0.25	0.16	0.09	0.03	0.01	1.56
1975	0.02	0.04	0.09	0.14	0.19	0.24	0.28	0.22	0.17	0.08	0.04	0.02	1.54
1976	0.03	0.04	0.08	0.13	0.17	0.17	0.26	0.21	0.15	0.08	0.04	0.02	1.39
1977	0.03	0.05	0.09	0.14	0.20	0.26	0.30	0.25	0.15	0.08	0.04	0.02	1.60
1978	0.03	0.05	0.09	0.12	0.19	0.27	0.30	0.24	0.15	0.08	0.03	0.02	1.55
1979	0.02	0.04	0.09	0.12	0.20	0.25	0.27	0.23	0.15	0.07	0.04	0.02	1.50
1980	0.02	0.04	0.08	0.12	0.16	0.25	0.30	0.23	0.16	0.08	0.04	0.02	1.50
1981	0.03	0.04	0.08	0.13	0.17	0.27	0.28	0.23	0.16	0.10	0.03	0.02	1.53
1982	0.03	0.04	0.08	0.11	0.17	0.27	0.28	0.24	0.16	0.08	0.03	0.02	1.49
1983	0.02	0.04	0.09	0.15	0.21	0.23	0.27	0.22	0.16	0.08	0.03	0.02	1.51
1984	0.02	0.04	0.07	0.10	0.20	0.26	0.29	0.21	0.16	0.09	0.03	0.02	1.51
1985	0.03	0.04	0.07	0.14	0.20	0.26	0.30	0.26	0.17	0.08	0.04	0.02	1.58
1986	0.03	0.04	0.07	0.14	0.19	0.25	0.28	0.26	0.16	0.08	0.03	0.01	1.54
1987	0.03	0.04	0.07	0.12	0.18	0.26	0.30	0.25	0.18	0.07	0.03	0.02	1.54
1988	0.03	0.04	0.08	0.12	0.19	0.25	0.32	0.26	0.16	0.08	0.03	0.01	1.58
1989	0.02	0.05	0.09	0.15	0.18	0.24	0.27	0.25	0.16	0.08	0.04	0.02	1.54
1990	0.03	0.04	0.08	0.13	0.19	0.25	0.28	0.24	0.16	0.08	0.03	0.02	1.52
1991	0.03	0.04	0.08	0.13	0.19	0.25	0.28	0.24	0.16	0.08	0.03	0.02	1.52
1992	0.03	0.04	0.08	0.13	0.19	0.25	0.28	0.24	0.16	0.08	0.03	0.02	1.52
1993	0.03	0.04	0.08	0.13	0.19	0.25	0.28	0.24	0.16	0.08	0.03	0.02	1.52
1994	0.03	0.04	0.08	0.13	0.19	0.25	0.28	0.24	0.16	0.08	0.03	0.02	1.52
1995	0.03	0.04	0.08	0.13	0.19	0.25	0.28	0.24	0.16	0.08	0.03	0.02	1.52
1996	0.03	0.04	0.08	0.13	0.19	0.25	0.28	0.24	0.16	0.08	0.03	0.02	1.52
1997	0.03	0.04	0.08	0.13	0.19	0.25	0.28	0.24	0.16	0.08	0.03	0.02	1.52
1998	0.03	0.04	0.08	0.13	0.19	0.25	0.28	0.24	0.16	0.08	0.03	0.02	1.52
1999	0.03	0.04	0.08	0.13	0.19	0.25	0.28	0.24	0.16	0.08	0.03	0.02	1.52
2000	0.03	0.04	0.08	0.13	0.19	0.25	0.28	0.24	0.16	0.08	0.03	0.02	1.52
2001	0.03	0.04	0.08	0.13	0.19	0.25	0.28	0.24	0.16	0.08	0.03	0.02	1.52
2002	0.03	0.04	0.08	0.13	0.19	0.25	0.28	0.24	0.16	0.08	0.03	0.02	1.52
2003	0.03	0.04	0.08	0.13	0.19	0.25	0.28	0.24	0.16	0.08	0.03	0.02	1.52
2004	0.03	0.04	0.08	0.13	0.19	0.25	0.28	0.24	0.16	0.08	0.03	0.02	1.52
2005	0.03	0.04	0.08	0.13	0.19	0.25	0.28	0.24	0.16	0.08	0.03	0.02	1.52
2006	0.03	0.04	0.08	0.13	0.19	0.25	0.28	0.24	0.16	0.08	0.03	0.02	1.52
ΜΕΣΗ Γ	0.03	0.04	0.08	0.13	0.19	0.25	0.28	0.24	0.16	0.08	0.03	0.02	1.52

Πίνακας 68: Εξάτμιση (πολλαπλασιασμός x1.3) [mm]

ΕΤΟΣ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΑΘΡ.ΕΤΟΥΣ
1960	16.00	16.00	16.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.00	16.00	80.00
1961	16.00	16.00	16.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.00	16.00	80.00
1962	16.00	16.00	16.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.00	16.00	80.00
1963	16.00	16.00	16.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.00	16.00	80.00
1964	16.00	16.00	16.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.00	16.00	80.00
1965	16.00	16.00	16.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.00	16.00	80.00
1966	16.00	16.00	16.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.00	16.00	80.00
1967	16.00	16.00	16.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.00	16.00	80.00
1968	16.00	16.00	16.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.00	16.00	80.00
1969	16.00	16.00	16.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.00	16.00	80.00
1970	16.00	16.00	16.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.00	16.00	80.00
1971	16.00	16.00	16.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.00	16.00	80.00
1972	16.00	16.00	16.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.00	16.00	80.00
1973	16.00	16.00	16.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.00	16.00	80.00
1974	16.00	16.00	16.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.00	16.00	80.00
1975	16.00	16.00	16.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.00	16.00	80.00
1976	16.00	16.00	16.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.00	16.00	80.00
1977	16.00	16.00	16.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.00	16.00	80.00
1978	16.00	16.00	16.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.00	16.00	80.00
1979	16.00	16.00	16.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.00	16.00	80.00
1980	16.00	16.00	16.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.00	16.00	80.00
1981	16.00	16.00	16.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.00	16.00	80.00
1982	16.00	16.00	16.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.00	16.00	80.00
1983	16.00	16.00	16.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.00	16.00	80.00
1984	16.00	16.00	16.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.00	16.00	80.00
1985	16.00	16.00	16.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.00	16.00	80.00
1986	16.00	16.00	16.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.00	16.00	80.00
1987	16.00	16.00	16.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.00	16.00	80.00
1988	16.00	16.00	16.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.00	16.00	80.00
1989	16.00	16.00	16.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.00	16.00	80.00
1990	16.00	16.00	16.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.00	16.00	80.00
1991	16.00	16.00	16.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.00	16.00	80.00
1992	16.00	16.00	16.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.00	16.00	80.00
1993	16.00	16.00	16.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.00	16.00	80.00
1994	16.00	16.00	16.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.00	16.00	80.00
1995	16.00	16.00	16.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.00	16.00	80.00
1996	16.00	16.00	16.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.00	16.00	80.00
1997	16.00	16.00	16.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.00	16.00	80.00
1998	16.00	16.00	16.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.00	16.00	80.00
1999	16.00	16.00	16.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.00	16.00	80.00
2000	16.00	16.00	16.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.00	16.00	80.00
2001	16.00	16.00	16.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.00	16.00	80.00
2002	16.00	16.00	16.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.00	16.00	80.00
2003	16.00	16.00	16.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.00	16.00	80.00
2004	16.00	16.00	16.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.00	16.00	80.00
2005	16.00	16.00	16.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.00	16.00	80.00
2006	16.00	16.00	16.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.00	16.00	80.00
ΜΕΣΟ	16.00	16.00	16.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.00	16.00	80.00

Πίνακας 69: Αντλιοστάσιο Κάρλας [hm<sup>3</sup>]

## Β. Εφαρμογή Συναρτήσεων στην Εργασία

WRSS

Εφαρμογή στην εργασία *createArea*: Οι περιοχές που έχουν δημιουργηθήκαν είναι

✓ Περιοχή ταμιευτήρα Σμοκόβου:

```
area<-createArea(name="Res_smok", location="smokovo",
simulation=list(start='1968-01-01',
end='1994-12-31',
```



interval='month'))

- ✓ Περιοχή ταμιευτήρα Κάρλας:

```
area<-createArea(name="karla", location="s.larissa",  
simulation=list(start='1960-01-01',end='2006-12-31',  
interval='month'))
```

- ✓ Περιοχή ταμιευτήρα Γυρτώνης:

```
area<-createArea(name="gyrtwni", location="s.larissa",  
simulation=list(start='1960-01-01',end='2006-12-31',  
interval='month'))
```

*Εφαρμογή στην εργασία createJunction:*

- ✓ Περιοχή ταμιευτήρα Σμοκόβου:

```
J1<-createJunction(name="kedros")
```

- ✓ ταμιευτήρα Γυρτώνης:

```
J1<-createJunction(name="j1",downstream=NA)
```

*Εφαρμογή στην εργασία createRiver:*

- ✓ Περιοχή ταμιευτήρα Σμοκόβου:

```
R1<-createRiver(name="sofaditis", downstream=Res1,  
,discharge=discharge1)
```

- ✓ Περιοχή ταμιευτήρα Κάρλας:

```
R1<-createRiver(name="river", downstream=Res1,  
discharge=discharge_karla1)
```

- ✓ Περιοχή ταμιευτήρα Γυρτώνης:

```
R1<-createRiver(name="phneios", downstream=Res1, discharge=discharge1)
```

*Εφαρμογή στην εργασία createReservoir:*

- ✓ Περιοχή ταμιευτήρα Σμοκόβου:

```
Res1<-createReservoir(name="smokovo", type='storage', priority=1,  
netEvaporation= evaporation1,  
initialStorage = 209.2,  
downstream = J1 ,  
geometry=list(deadStorage= 27.1,  
capacity= 209.2,  
storageAreaTable=volume_area1))
```

- ✓ Περιοχή ταμιευτήρα Κάρλας:

```
Res1<-createReservoir(name="karla", type='storage', priority=1,  
netEvaporation=evaporation1, downstream =J1 ,
```

```

geometry= list(storageAreaTable=volume_area1,
               deadStorage= 57.01,
               capacity= 84.14))

```

- ✓ Περιοχή ταμιευτήρα Γυρτώνης:

```

Res1<-createReservoir(name="Gyrt", type='storage', priority=1,
                      netEvaporation =evaporation1,downstream =J1 ,
                      geometry=list(storageAreaTable=volume_area1,
                                   deadStorage= 0,
                                   capacity= 5))

```

*Εφαρμογή στην εργασία createDemandSite:*

- ✓ Περιοχή ταμιευτήρα Σμοκόβου-ζητήσεις ύδρευσης, άρδευσης και οικολογικής παροχής:

```

D1<-createDemandSite(name ="water_supply", demandTS=water_supply1,
                     suppliers=list(Res1),
                     priority=1)

```

```

D2<-createDemandSite(name ="irrigation", demandTS=irrigation1,
                     suppliers=list(Res1),
                     priority=3)

```

```

D3<-createDemandSite(name ="env_flow", demandTS=env_flow1,
                     returnFlowFraction=0.1, suppliers=list(Res1),
                     downstream=J1,priority=2)

```

- ✓ Περιοχή ταμιευτήρα Κάρλας-ζήτηση άρδευσης στην Κάρλα:

```

D1<-createDemandSite(name ="demand_karla", demandTS=demand_karla1,
                     returnFlowFraction=0.1, suppliers=list(Res1),
                     downstream=NA, priority=1)

```

- ✓ Περιοχή ταμιευτήρα Γυρτώνης-ζητήσεις άρδευσης Λάρισας, οικολογικής παροχής και αντλιοστάσιου Κάρλας:

```

D1<-createDemandSite(name ="irrigation_lar", demandTS=irrigation_lar1,
                     returnFlowFraction=0.1, suppliers=list(Res1),
                     downstream=J1,priority=3)

```

```

D2<-createDemandSite(name ="env_flow", demandTS=env_flow1,
                     returnFlowFraction=0.1,suppliers=list(Res1),
                     downstream=J1,priority=2)

```

```
D3<-createDemandSite(name ="demand_karla", demandTS=demand_karla1,
returnFlowFraction=0.1,suppliers=list(Res1),
downstream=J1,priority=3)
```

*Εφαρμογή στην εργασία addObjectToArea:* Όλα τα αντικείμενα προστίθεται ένα-ένα μέσω αυτής της συνάρτησης στην περιοχή στην οποία ανήκει.

*Εφαρμογή στην εργασία sim:* sim(area) για την προσομοίωση των τριών περιοχών.

*Εφαρμογή στην εργασία plot(sim):* plot(sim) για την απεικόνιση της προσομοίωσης των τριών περιοχών

## RESERVOIR

*Εφαρμογή στην εργασία dirtyreps:* Χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή συνθετικών χρονοσειρών σε κάθε περιοχή με χρήση αρχική χρονοσειρά εισροής Q:

```
✓ dirtyreps1_100<-dirtyreps(Q, reps=100, method ="kNNboot" )
dirtyreps2_100<-dirtyreps(Q, reps=100, method = "PARMA")
```

*Εφαρμογή στην εργασία simRes:* 1-προσομοίωση με αρχική χρονοσειρά Q, 2α-προσομοίωση με συνθετική χρονοσειρά (μέθοδος kNN), , 2b-προσομοίωση με συνθετική χρονοσειρά (μέθοδος PARMA(1,1)):

```
✓ Περιοχή ταμιευτήρα Σμοκόβου:
simRes1<-simRes(Q, capacity = 209.2, target =sum_demand2,
surface_area=7.3,
max_depth=40.75 ,evap= evaporation1,
double_cycle= FALSE, plot=TRUE)
simRes2a<-simRes(Q1,capacity = 209.2, target =sum_demand1,
surface_area=7.3,
max_depth=40.75 ,evap= evaporation1,
double_cycle= FALSE, plot=FALSE)
simRes2b<-simRes(Q2,capacity = 209.2, target =sum_demand1,
surface_area=7.3,
max_depth=40.75 ,evap= evaporation1,
double_cycle= FALSE, plot=FALSE)
```

- ✓ Περιοχή ταμιευτήρα Κάρλας:

```
simRes1<-simRes(Q, capacity = 84.14, target = sum_demand2,
               surface_area=35.45,
               max_depth=2.4 ,evap= evaporation1,
               double_cycle= FALSE, plot=TRUE)
simRes2a<-simRes(Q1,capacity = 84.14, target = sum_demand2,
                 surface_area=35.45,
                 max_depth=2.4 ,evap= evaporation1,
                 double_cycle= FALSE, plot=FALSE)
simRes2b<-simRes(Q2,capacity = 84.14, target = sum_demand2,
                 surface_area=35.45,
                 max_depth=2.4 ,evap= evaporation1,
                 double_cycle= FALSE, plot=FALSE)
```

- ✓ Περιοχή ταμιευτήρα Γυρτώνης:

```
simRes1<-simRes(discharge1, capacity = 5, target =sum_demand1,
               surface_area=1.3075,
               max_depth=12 ,evap= evaporation1,
               double_cycle= FALSE, plot=TRUE)
simRes2a<-simRes(Q1,capacity = 5, target =sum_demand1,
                 surface_area=1.3075,
                 max_depth=12 ,evap= evaporation1,
                 double_cycle= FALSE, plot=TRUE)
simRes2b<-simRes(Q2,capacity = 5, target =sum_demand1,
                 surface_area=1.3075,
                 max_depth=12 ,evap= evaporation1,
                 double_cycle= FALSE, plot=TRUE)
```

*Εφαρμογή στην εργασία rrv:* 1-προσομοίωση με αρχική χρονοσειρά Q, 2α-προσομοίωση με συνθετική χρονοσειρά (μέθοδος kNN), , 2b-προσομοίωση με συνθετική χρονοσειρά (μέθοδος PARMA(1,1)):

- ✓ Περιοχή ταμιευτήρα Σμοκόβου:

```
rrv1<-rrv(Q, capacity = 209.2, target =sum_demand1,
           surface_area=7.3,
           max_depth=40.75, evap= evaporation1,
           double_cycle= FALSE, plot=TRUE)
```

```
rrv2a<-rrv(dirtyreps1_100[,i], capacity = 209.2, target =sum_demand1,
surface_area=7.3,
max_depth=40.75, evap= evaporation1,
double_cycle= FALSE, plot=FALSE)
rrv2b<-rrv(dirtyreps1_100[,i], capacity = 209.2, target =sum_demand1,
surface_area=7.3,
max_depth=40.75, evap= evaporation1,
double_cycle= FALSE, plot=FALSE)
```

✓ Περιοχή ταμιευτήρα Κάρλας:

```
rrv1<-rrv(Q, capacity = 84.14, target = sum_demand2,
surface_area=35.45,
max_depth=2.4 ,evap= evaporation1,
double_cycle= FALSE, plot=TRUE)
rrv2a<-rrv(dirtyreps1_100[,i], capacity = 84.14, target = sum_demand2,
surface_area=35.45,
max_depth=2.4 ,evap= evaporation1,
double_cycle= FALSE, plot=FALSE)
rrv2b<-rrv(dirtyreps1_100[,i], capacity = 84.14, target = sum_demand2,
surface_area=35.45,
max_depth=2.4 ,evap= evaporation1,
double_cycle= FALSE, plot=FALSE)
```

✓ Περιοχή ταμιευτήρα Γυρτώνης:

```
rrv1<-rrv(Q, capacity = 84.14, target = sum_demand2,
surface_area=35.45,
max_depth=2.4 ,evap= evaporation1,
double_cycle= FALSE, plot=TRUE)
rrv2a<-rrv(dirtyreps1_100[,i],capacity = 5, target =sum_demand1,
surface_area=1.3075,
max_depth=12 ,evap= evaporation1,
double_cycle= FALSE, plot=TRUE)
rrv2b<-rrv(dirtyreps1_100[,i], capacity = 5, target =sum_demand1,
surface_area=1.3075,
max_depth=12 ,evap= evaporation1,
double_cycle= FALSE, plot=TRUE)
```

I. Για τη δημιουργία των διαγραμμάτων χρησιμοποιήθηκαν τα πακέτα ggplot2

tidyverse και gcookbook, ενώ η ολοκληρωμένη σύνταξη για κάθε διάγραμμα μπορεί να μελετηθεί στην παρακάτω παρουσίαση του ολοκληρωμένου κώδικα.

## Γ. Ολοκληρωμένος Κώδικας στην R

### Γυρτώνη

```
#INPUTS#
Discharge <- read.table(file = "clipboard",
                        sep = "\t", header=FALSE)
evaporation <- read.table(file = "clipboard",
                          sep = "\t", header=FALSE)
volume_area <- read.table(file = "clipboard",
                          sep = "\t", header=FALSE)
irrigation_lar <- read.table(file = "clipboard",
                             sep = "\t", header=FALSE)
env_flow <- read.table(file = "clipboard",
                       sep = "\t", header=FALSE)
demand_karla <- read.table(file = "clipboard",
                           sep = "\t", header=FALSE)
sum_demand <- read.table(file = "clipboard",
                         sep = "\t", header=FALSE)
demand_profile<- read.table(file = "clipboard",
                             sep = "\t", header=FALSE)
yield<- read.table(file = "clipboard",
                   sep = "\t", header=FALSE)
dataMONTH<- read.table(file = "clipboard", sep = "\t", header=FALSE)
dataTYPE<- read.table(file = "clipboard", sep = "\t", header=FALSE)
mean_capacity<- read.table(file = "clipboard",
                           sep = "\t", header=FALSE)

discharge1<-as.vector(t(Discharge))
evaporation1 <-as.vector(t(evaporation))
volume_area1<-as.matrix(volume_area)
irrigation_lar1<-as.vector(t(irrigation_lar))
env_flow1<-as.vector(t(env_flow))
demand_karla1<-as.vector(t(demand_karla))
sum_demand1<-as.vector(t(sum_demand))
demand_profile1<-as.vector(t(demand_profile))
yield1<-as.vector(t(yield))

#SET WORKING DIRECTORY#
setwd("C:\Users\athanassia\Desktop\Gyr_Simulation")
load("gyrtwni.RData")
install.packages("WRSS")
install.packages("ggplot2")
install.packages(c("tidyverse", "gcookbook"))
library(WRSS)
library(ggplot2)
library(tidyverse)
library(gcookbook)

#WATER RESOURCES SYSTEM SIMULATION#
```

```

J1<-createJunction(name="j1",downstream=NA)

Res1<-createReservoir(name="Gyrt",type='storage', priority=1,
                      netEvaporation=evaporation1,downstream =J1 ,
                      geometry=list(storageAreaTable=volume_area1,
                                    deadStorage= 0,
                                    capacity= 5))
R1<-createRiver(name="phneios", downstream=Res1, discharge=discharge1)
D1<-createDemandSite(name ="irrigation_lar",demandTS=irrigation_lar1,
                     returnFlowFraction=0.1,suppliers=list(Res1),
                     downstream=J1,priority=3)

D2<-createDemandSite(name ="env_flow",demandTS=env_flow1,
                     returnFlowFraction=0.1,suppliers=list(Res1),
                     downstream=J1,priority=2)

D3<-createDemandSite(name ="demand_karla",demandTS=demand_karla1,
                     returnFlowFraction=0.1,suppliers=list(Res1),
                     downstream=J1,priority=3)


area<-createArea(name="gyrtwni",location="s.larissa",
                 simulation=list(start='1960-01-01',end='2006-12-31',
                                interval='month'))
area<-addObjectToArea(area,R1)
area<-addObjectToArea(area,Res1)
area<-addObjectToArea(area,D1)
area<-addObjectToArea(area,D2)
area<-addObjectToArea(area,D3)
area<-addObjectToArea(area,J1)
## Not run:
plot(area)
simulated<-sim(area)
plot(simulated)
## End(Not run)
simulated<-sim(area)
plot(area)
ppi=300
a<-last_plot()
png("area.png", width = 4*ppi, height = 3*ppi,res=ppi)
plot(a)
dev.off()

s<-as.list(simulated)
results<-
as.data.frame(simulated[["operation"]][["operation"]][["reservoirs"]][1][["operation"]][["sim_result"]])

inflow_ir<-
as.data.frame(s[["operation"]][["operation"]][["demands"]][1][["operation"]][["inflow"]][["inflow (from: Gyrt)"]])
demand_ir_ts<-ts(inflow_ir)
demand_ir<-matrix(demand_ir_ts, nrow=47, ncol=12, byrow=TRUE)
mean_demand_irrigation<-as.matrix(apply(demand_ir,2,mean))

```

```

rownames(mean_demand_irrigation)<-
c("JAN","FEB","MAR","APR","MAY","JUN","JUY","AUG","SEPT","OCT","NOV",
"DEC")
png("IRRIGATION.png", width = 4*ppi, height = 4*ppi,res=ppi)
plot(mean_demand_irrigation, type="b", col="green", xlab="time[months]",
ylab="volume[hm3]", main="IRRIGATION LARISSA")
dev.off()

inflow_demand_karla<-
as.data.frame(s[["operation"]][["operation"]][["demands"]][[3]][["operation"]][["inflow"]][["inflow (from: Gyrt)"]])
demand_karla_ts<-ts(inflow_demand_karla)
demand_dk<-matrix(demand_karla_ts, nrow=47, ncol=12, byrow=TRUE)
mean_demand_karla<-as.matrix(apply(demand_dk,2,mean))
rownames(mean_demand_water_supply)<-
c("JAN","FEB","MAR","APR","MAY","JUN","JUY","AUG","SEPT","OCT","NOV",
"DEC")
png("DEMAND_KARLA.png", width = 4*ppi, height = 4*ppi,res=ppi)
plot(mean_demand_karla, type="b", col="darkblue", xlab="time[months]",
ylab="volume[hm3]", main="DEMAND_KARLA")
dev.off()

inflow_env_flow<-
as.data.frame(s[["operation"]][["operation"]][["demands"]][[2]][["operation"]][["inflow"]][["inflow (from: Gyrt)"]])
demand_env_ts<-ts(inflow_env_flow)
demand_env<-matrix(demand_env_ts, nrow=47, ncol=12, byrow=TRUE)
mean_demand_env_flow<-as.matrix(apply(demand_env,2,mean))
rownames(mean_demand_env_flow)<-
c("JAN","FEB","MAR","APR","MAY","JUN","JUY","AUG","SEPT","OCT","NOV",
"DEC")
png("ENVIRONMENTAL_FLOW.png", width = 4*ppi, height = 4*ppi,res=ppi)
plot(mean_demand_env_flow, type="b", col="orange", xlab="time[months]",
ylab="volume[hm3]", main="ENVIRONMENTAL_FLOW")
dev.off()

outflow_river<-
as.data.frame(s[["operation"]][["operation"]][["rivers"]][[1]][["operation"]][["outflow"]][["outflow (to: Gyrt)"]])
demand_river_ts<-ts(outflow_river)
demand_river<-matrix(demand_river_ts, nrow=47, ncol=12, byrow=TRUE)
mean_demand_river<-as.matrix(apply(demand_river,2,mean))
rownames(mean_demand_river)<-
c("JAN","FEB","MAR","APR","MAY","JUN","JUY","AUG","SEPT","OCT","NOV",
"DEC")
png("RIVER.png", width = 4*ppi, height = 4*ppi,res=ppi)
plot(mean_demand_river, type="b", col="purple", xlab="time[months]",
ylab="volume[hm3]", main="RIVER")
dev.off()

png("group_plot_WRSS_demands.png", width = 6*ppi, height = 6*ppi,res=ppi)
par(mfrow=c(2,2))
plot(mean_demand_river, type="b", col="purple", xlab="time[months]",
ylab="volume[hm3]", main="1.RIVER")

```



```

plot(mean_demand_irrigation, type="b", col="green", xlab="time[months]",
ylab="volume[hm3]", main="2.IRRIGATION")
plot(mean_demand_karla, type="b", col="darkblue", xlab="time[months]",
ylab="volume[hm3]", main="3.DEMAND_KARLA")
plot(mean_demand_env_flow, type="b", col="orange", xlab="time[months]",
ylab="volume[hm3]", main="4.ENVIRONMENTAL_FLOW")
dev.off()

s<-as.list(simulated)
results<-
as.data.frame(simulated[["operation"]][["operation"]][["reservoirs"]][[1]][["operation"]][["sim_result"]])

#presenting_results_meanSimulated#
ppi<-300
#STORAGE#
storage_df<-
as.data.frame(s[["operation"]][["operation"]][["reservoirs"]][[1]][["operation"]][["sim_result"]][["storage"]])
storage_ts<-ts(storage_df)
storage<-matrix(storage_ts, nrow=77, ncol=12, byrow=TRUE)
mean_storage<-as.matrix(apply(storage,2,mean))
max_storage<-as.matrix(apply(storage,2,max))
min_storage<-as.matrix(apply(storage,2,min))
rownames(mean_storage)<-
c("JAN","FEB","MAR","APR","MAY","JUN","JUY","AUG","SEPT","OCT","NOV","DEC")
png("STORAGE.png", width = 4*ppi, height = 4*ppi,res=ppi)
plot(mean_storage, type="b", col="red", xlab="time[months]", ylab="volume[hm3]",
main="STORAGE")
dev.off()
#SPILL#
spill_df<-
as.data.frame(s[["operation"]][["operation"]][["reservoirs"]][[1]][["operation"]][["sim_result"]][["spill"]])
spill_ts<-ts(spill_df)
spill<-matrix(spill_ts, nrow=77, ncol=12, byrow=TRUE)
mean_spill<-as.matrix(apply(spill,2,mean))
max_spill<-as.matrix(apply(spill,2,max))
min_spill<-as.matrix(apply(spill,2,min))
rownames(mean_spill)<-
c("JAN","FEB","MAR","APR","MAY","JUN","JUY","AUG","SEPT","OCT","NOV","DEC")
png("SPILL.png", width = 4*ppi, height = 4*ppi,res=ppi)
plot(mean_spill, type="b", col="red", xlab="time[months]", ylab="volume[hm3]",
main="SPILL")
dev.off()
#LOSS#
loss_df<-
as.data.frame(simulated[["operation"]][["operation"]][["reservoirs"]][[1]][["operation"]][["sim_result"]][["loss"]])
loss_ts<-ts(loss_df)
loss<-matrix(loss_ts, nrow=47, ncol=12, byrow=TRUE)
mean_loss<-as.matrix(apply(loss,2,mean))
max_loss<-as.matrix(apply(loss,2,max))

```

```

min_loss<-as.matrix(apply(loss,2,min))
rownames(mean_loss)<-
c("JAN","FEB","MAR","APR","MAY","JUN","JUY","AUG","SEPT","OCT","NOV",
"DEC")
ppi<-300
png("LOSS.png", width = 4*ppi, height = 4*ppi,res=ppi)
plot(mean_loss, type="b", col="red", xlab="time[months]", ylab="volume[hm3]",
main="LOSS")
dev.off()
#RELEASE#
release_df<-
as.data.frame(s[["operation"]][["operation"]][["reservoirs"]][[1]][["operation"]][["sim
_result"]][["release"]])
release_ts<-ts(release_df)
release<-matrix(release_ts, nrow=47, ncol=12, byrow=TRUE)
mean_release<-as.matrix(apply(release,2,mean))
max_release<-as.matrix(apply(release,2,max))
min_release<-as.matrix(apply(release,2,min))
rownames(mean_release)<-
c("JAN","FEB","MAR","APR","MAY","JUN","JUY","AUG","SEPT","OCT","NOV",
"DEC")
png("RELEASE.png", width = 4*ppi, height = 4*ppi,res=ppi)
plot(mean_release, type="b", col="red", xlab="time[months]", ylab="volume[hm3]",
main="RELEASE")
dev.off()
png("group_plot_WRSS.png", width = 6*ppi, height = 6*ppi,res=ppi)
par(mfrow=c(2,2))
plot(mean_storage, type="b", col="red", xlab="time[months]", ylab="volume[hm3]",
main="1.STORAGE")
plot(mean_release, type="b", col="red", xlab="time[months]", ylab="volume[hm3]",
main="2.RELEASE")
plot(mean_spill, type="b", col="red", xlab="time[months]", ylab="volume[hm3]",
main="3.SPILL")
plot(mean_loss, type="b", col="red", xlab="time[months]", ylab="volume[hm3]",
main="4.LOSS")
dev.off()
wrss_results<-cbind(mean_storage,mean_release,mean_spill,mean_loss)
wrss_max<-cbind(max_storage,max_release,max_spill,max_loss)
wrss_min<-cbind(min_storage,min_release,min_spill,min_loss)

#BARPLOT#
mean_evaporation<-as.matrix(apply(evaporation, 2,mean))
rownames(mean_evaporation)<-
c("JAN","FEB","MAR","APR","MAY","JUN","JUY","AUG","SEPT","OCT","NOV",
"DEC")
mean_discharge<-as.matrix(apply(Discharge, 2,mean))
rownames(mean_discharge)<-
c("JAN","FEB","MAR","APR","MAY","JUN","JUY","AUG","SEPT","OCT","NOV",
"DEC")
mean_capacity_m<-(as.matrix(mean_capacity))
rownames(mean_capacity_m)<-
c("JAN","FEB","MAR","APR","MAY","JUN","JUY","AUG","SEPT","OCT","NOV",
"DEC")
b1<-barplot(t(mean_storage), col="green", main="STORAGE",
xlab="time[months]", ylab="volume[hm3]")

```

```

b2<-barplot(t(mean_release), col="red", main="Release", xlab="time[months]",
ylab="volume[hm3]")
b3<-barplot(t(mean_spill), col="lightblue", main="SPILL", xlab="time[months]",
ylab="volume[hm3]")
b4<-barplot(t(mean_evaporation), col="black", main="EVAPORATION",
xlab="time[months]", ylab="[m]")
b5<-barplot(t(mean_discharge), col="blue", main="IFLOW", xlab="time[months]",
ylab="volume[hm3]")
l1<-plot(t(mean_capacity_m),type="b", col="deeppink1",xlab="time[months]",
ylab="volume[hm3]",main="CAPACITY")

data<-matrix(data=c(mean_storage,mean_release,mean_spill,mean_evaporation,
mean_discharge,mean_capacity_m),nrow = 12,ncol=6, byrow =
FALSE)

#ANALYSIS DESIGN AND OPERATION OF WATER SUPPLY#
install.packages("reservoir")
library(reservoir)
Q<-ts(discharge1,start=c(1960,01) , end= c(2006,12), frequency = 12)
sum_demand2<-ts(sum_demand1,start=c(1960,01) , end= c(2006,12), frequency =
12)
simRes1<-simRes(Q, capacity = 5, target =sum_demand2,
surface_area=1.1617,
max_depth= 12 ,evap= evaporation1,
double_cycle= FALSE, plot=TRUE)
##boxplotQ#
Q_matrix<-matrix(Q, nrow=47, ncol=12, byrow=TRUE)
colnames(Q_matrix)<-
c("JAN","FEB","MAR","APR","MAY","JUN","JUY","AUG","SEPT","OCT","NOV",
"DEC")
mean_Q<-as.matrix(apply(Q_matrix,2,mean))
max_Q<-as.matrix(apply(Q_matrix,2,max))
min_Q<-as.matrix(apply(Q_matrix,2,min))
sd_Q<-as.matrix(apply(Q_matrix,2,sd))
png("Q.png", width = 4*ppi, height = 4*ppi,res=ppi)
simRes1results<-cbind(mean_Q,sd_Q, max_Q, min_Q)
boxplot(Q_matrix,xlab="time[months]", ylab="discharge",
col=c("red","lightblue","green","purple"),
main="Boxplot-discharge_Q")
dev.off()
png("Q2.png", width = 4*ppi, height = 4*ppi,res=ppi)
simRes1results<-cbind(mean_Q,sd_Q, max_Q, min_Q)
boxplot(Q_matrix,xlab="time[months]", ylab="discharge",
col=c("red","lightblue","green","purple"),
main="Boxplot-discharge_Q",horizontal=FALSE, outline=FALSE)
dev.off()
SIMRES1matrixresults<-matrix(c(mean_Q,sd_Q,max_Q,min_Q), nrow = 12,ncol=4,
byrow = FALSE)

#present_data_simRes1#
png("Spill_res.png", width = 4*ppi, height = 4*ppi,res=ppi)
spill_res<-as.data.frame(unlist(simRes1[["spill"]]))
spill_res0<-ts(spill_res)
spill_res1<-matrix(spill_res0, nrow=47, ncol=12, byrow=TRUE)
spill_res2<-matrix(apply(spill_res1,2,mean))

```

```

spill_res3<-matrix(apply(spill_res1,2,max))
spill_res4<-matrix(apply(spill_res1,2,min))
plot(spill_res2,type="b",col="blue", xlab="time[months]", ylab="volume[hm3]",
main="SPILL")
dev.off()
png("Storage_res.png", width = 4*ppi, height = 4*ppi,res=ppi)
storage_res<-as.data.frame(unlist(simRes1[["storage"]]))
storage_res0<-ts(storage_res)
storage_res1<-matrix(storage_res0, nrow=47, ncol=12, byrow=TRUE)
storage_res2<-matrix(apply(storage_res1,2,mean))
storage_res3<-matrix(apply(storage_res1,2,max))
storage_res4<-matrix(apply(storage_res1,2,min))
plot(storage_res2 ,type="b", col="blue", xlab="time[months]", ylab="volume[hm3]",
main="STORAGE")
dev.off()
png("Releases_res.png", width = 4*ppi, height = 4*ppi,res=ppi)
releases_res<-as.data.frame(unlist(simRes1[["releases"]]))
releases_res0<-ts(releases_res)
releases_res1<-matrix(releases_res0, nrow=47, ncol=12, byrow=TRUE)
releases_res2<-matrix(apply(releases_res1,2,mean))
releases_res3<-matrix(apply(releases_res1,2,max))
releases_res4<-matrix(apply(releases_res1,2,min))
plot(releases_res2, type="b", col="blue", xlab="time[months]", ylab="volume[hm3]",
main="Releases")
dev.off()
png("Water_level_res1.png", width = 4*ppi, height = 4*ppi,res=ppi)
water_level_res<-as.data.frame(unlist(simRes1[["water_level"]]))
water_level_res0<-ts(water_level_res)
water_level_res1<-matrix(water_level_res0, nrow=47, ncol=12, byrow=TRUE)
water_level_res2<-matrix((apply(water_level_res1,2,mean)))
water_level_res3<-matrix((apply(water_level_res1,2,max)))
water_level_res4<-matrix((apply(water_level_res1,2,min)))
plot(water_level_res2,type="b", col="blue", xlab="time[months]", ylab="[m]",
main="WATER_LEVEL")
dev.off()
png("evaporation_res1.png", width = 4*ppi, height = 4*ppi,res=ppi)
evaporation_res<-as.data.frame(unlist(simRes1[["evaporation"]]))
evaporation_res0<-ts(evaporation_res)
evaporation_res1<-matrix(evaporation_res0, nrow=47, ncol=12, byrow=TRUE)
evaporation_res2<-matrix(apply(evaporation_res1,2,mean))
evaporation_res3<-matrix(apply(evaporation_res1,2,max))
evaporation_res4<-matrix(apply(evaporation_res1,2,min))
plot(evaporation_res2 ,type="b", col="blue", xlab="time[months]", ylab="[m]",
main="EVAPORATION")
dev.off()
png("group_plot_simRes1.png", width = 6*ppi, height = 6*ppi,res=ppi)
par(mfrow=c(3,2))
plot(storage_res2 ,type="b", col="blue", xlab="time[months]", ylab="volume[hm3]",
main="1.STORAGE")
plot(spill_res2,type="b", col="blue", xlab="time[months]", ylab="volume[hm3]",
main="2.SPILL")
plot(releases_res2,type="b", col="blue", xlab="time[months]", ylab="volume[hm3]",
main="3.RELEASES")
plot(water_level_res2 ,type="b", col="blue", xlab="time[months]", ylab="[m]",
main="4.WATER_LEVEL")

```

```

plot(evaporation_res2 ,type="b", col="blue", xlab="time[months]", ylab="[m]",
main="5.EVAPORATION")
dev.off()
rrv1<-rrv(Q, capacity = 84.14, target = sum_demand2,
surface_area=35.45,
max_depth=2.4 ,evap= evaporation1,
double_cycle= FALSE, plot=FALSE)
simRes1results_mean<-cbind(storage_res2, releases_res2, spill_res2,
evaporation_res2, water_level_res2)
simRes1results_max<-cbind(storage_res3, releases_res3, spill_res3,
evaporation_res3, water_level_res3)
simRes1results_min<-cbind(storage_res4, releases_res4, spill_res4, evaporation_res4,
water_level_res4)

#convert to a 100-year montly timeseries#
set.seed(14)
dirtyreps1_100<-dirtyreps(Q, reps=100, method = "kNNboot")
dirtyreps2_100<-dirtyreps(Q, reps=100, method = "PARMA")

#Presenting_timeseries_statistics#
replicates_knn<-matrix(dirtyreps1_100, nrow=56400, ncol=12, byrow=TRUE)
colnames(replicates_knn)<-
c("JAN", "FEB", "MAR", "APR", "MAY", "JUN", "JUY", "AUG", "SEPT", "OCT", "NOV",
"DEC")
Listknn1 = list()
for (i in 1:100)
{ knn1<-matrix(dirtyreps1_100[,i], nrow=47, ncol=12, byrow=TRUE)
Listknn1[[length(Listknn1)+1]] = knn1 }
Listknn2=list()
for(i in 1:100)
{ knn2<-apply(Listknn1[[i]], 2, mean)
Listknn2[[length(Listknn2)+1]] = knn2 }
knn3<-as.data.frame(unlist(Listknn2))
knn4<-ts(knn3)
knn5<-matrix(knn4, nrow=100, ncol=12, byrow=TRUE)
knn6<-matrix(apply(knn5, 2, mean))
knn7<-matrix(apply(knn5, 2, max))
knn8<-matrix(apply(knn5, 2, min))
knn9<-matrix(apply(knn5, 2, sd))
replicates_knn_results<-cbind(knn6, knn9, knn7, knn8)
png("Timeseries100_knn.png", width = 4*ppi, height = 4*ppi, res=ppi)
boxplot(replicates_knn, xlab="time[months]", ylab="discharge",
col=c("red", "lightblue", "green", "purple"),
main="Boxplot-timeseries_knn_method", horizontal=FALSE, outline=FALSE)
dev.off()

replicates_parma<-matrix(dirtyreps2_100, nrow=56400, ncol=12, byrow=TRUE)
colnames(replicates_parma)<-
c("JAN", "FEB", "MAR", "APR", "MAY", "JUN", "JUY", "AUG", "SEPT", "OCT", "NOV",
"DEC")
Listparma1 = list()
for (i in 1:100)
{ parma1<-matrix(dirtyreps2_100[,i], nrow=47, ncol=12, byrow=TRUE)
Listparma1[[length(Listparma1)+1]] = parma1 }
Listparma2=list()

```

```

for(i in 1:100)
{parma2<-apply(Listparma1[[i]],2,mean)
Listparma2[[length(Listparma2)+1]] =parma2}
parma3<-as.data.frame(unlist(Listparma2))
parma4<-ts(parma3)
parma5<-matrix(parma4,nrow=100,ncol=12,byrow=TRUE)
parma6<-matrix(apply(parma5,2,mean))
parma7<-matrix(apply(parma5,2,max))
parma8<-matrix(apply(parma5,2,min))
parma9<-matrix(apply(parma5,2,sd))
replicates_parma_results<-cbind(parma6, parma9, parma7, parma8)
png("Timeseries100_parma.png",width = 4*ppi, height = 4*ppi,res=ppi)
boxplot(replicates_parma,xlab="time[months]", ylab="discharge",
col=c("red","lightblue","green","purple"),
      main="Boxplot-timeseries_PARMA_method",horizontal=FALSE,
outline=FALSE)
dev.off()

#timeseries_check1#
mean(mean_Q); mean(mean_replicates_knn)
mean(max_Q); mean(max_replicates_knn)
mean(min_Q); mean(min_replicates_knn)
mean(sd_Q); mean(sd_replicates_knn)
mean(mean_Q); mean(mean_replicates_parma)
mean(max_Q); mean(max_replicates_parma)
mean(min_Q); mean(min_replicates_parma)
mean(sd_Q); mean(sd_replicates_parma)

#knnboot method#
List1 = list()
for (i in 1:100)
{Q1<-ts(dirtyreps1_100[,i],start=c(1960,01) , end= c(2006,12), frequency = 12)
simRes2a<-simRes(Q1,capacity = 5, target =sum_demand1,
      surface_area=1.3075,
      max_depth=12 ,evap= evaporation1,
      double_cycle= FALSE, plot=FALSE)
List1[[length(List1)+1]] = simRes2a}
#PARMA method#
List2 = list()
for (i in 1:100)
{Q2<-ts(dirtyreps2_100[,i],start=c(1960,01) , end= c(2006,12), frequency = 12)
simRes2b<-simRes(Q2,capacity = 5, target =sum_demand1,
      surface_area=1.3075,
      max_depth=12 ,evap= evaporation1,
      double_cycle= FALSE, plot=FALSE)
List2[[length(List2)+1]] = simRes2b}

#mean_simRes2a#
#STORAGE#
List_ST<-list()
for (i in 1:100)
{ST<-matrix((List1[[i]][["storage"]]),nrow=47, ncol=12, byrow=TRUE)
List_ST[[length(List_ST)+1]] = ST}
List_ST1<-list()
for(i in 1:100)

```

```

{ST1<-apply(List_ST[[i]],2,mean)
List_ST1[[length(List_ST1)+1]] = ST1}
ST2<-as.data.frame(unlist(List_ST1))
ST3<-ts(ST2)
ST4<-matrix(ST3,nrow=100,ncol=12,byrow=TRUE)
ST5<-matrix(apply(ST4,2,mean))
ST6<-matrix(apply(ST4,2,max))
ST7<-matrix(apply(ST4,2,min))
rownames(ST5)<-
c("JAN","FEB","MAR","APR","MAY","JUN","JUY","AUG","SEPT","OCT","NOV",
"DEC")
#RELEASE#
List_REL<-list()
for (i in 1:100)
{REL<-matrix(List1[[i]][["releases"]],nrow=47, ncol=12, byrow=TRUE)
List_REL[[length(List_REL)+1]] = REL}
List_REL1<-list()
for(i in 1:100)
{REL1<-apply(List_REL[[i]],2,mean)
List_REL1[[length(List_REL1)+1]] = REL1}
REL2<-as.data.frame(unlist(List_REL1))
REL3<-ts(REL2)
REL4<-matrix(REL3,nrow=100,ncol=12,byrow=TRUE)
REL5<-matrix(apply(REL4,2,mean))
REL6<-matrix(apply(REL4,2,max))
REL7<-matrix(apply(REL4,2,min))
rownames(REL5)<-
c("JAN","FEB","MAR","APR","MAY","JUN","JUY","AUG","SEPT","OCT","NOV",
"DEC")
#EVAPORATION#
List_EV<-list()
for (i in 1:100)
{EV<-matrix(List1[[i]][["evaporation"]],nrow=47, ncol=12, byrow=TRUE)
List_EV[[length(List_EV)+1]] = EV}
List_EV1<-list()
for(i in 1:100)
{EV1<-apply(List_EV[[i]],2,mean)
List_EV1[[length(List_EV1)+1]] = EV1}
EV2<-as.data.frame(unlist(List_EV1))
EV3<-ts(EV2)
EV4<-matrix(EV3,nrow=100,ncol=12,byrow=TRUE)
EV5<-matrix(apply(EV4,2,mean))
EV6<-matrix(apply(EV4,2,max))
EV7<-matrix(apply(EV4,2,min))
#SPILL#
List_SP<-list()
for (i in 1:100)
{SP<-matrix(List1[[i]][["spill"]],nrow=47, ncol=12, byrow=TRUE)
List_SP[[length(List_SP)+1]] = SP}
List_SP1<-list()
for(i in 1:100)
{SP1<-apply(List_SP[[i]],2,mean)
List_SP1[[length(List_SP1)+1]] = SP1}
SP2<-as.data.frame(unlist(List_SP1))
SP3<-ts(SP2)

```

```

SP4<-matrix(SP3,nrow=100,ncol=12,byrow=TRUE)
SP5<-matrix(apply(SP4,2,mean))
SP6<-matrix(apply(SP4,2,max))
SP7<-matrix(apply(SP4,2,min))
rownames(SP5)<-
c("JAN","FEB","MAR","APR","MAY","JUN","JUY","AUG","SEPT","OCT","NOV",
"DEC")
#WATER_LEVEL#
List_WL<-list()
for (i in 1:100)
{WL<-matrix(List1[[i]][["water_level"]],nrow=47, ncol=12, byrow=TRUE)
List_WL[[length(List_WL)+1]] = WL}
List_WL1<-list()
for(i in 1:100)
{WL1<-apply(List_WL[[i]],2,mean)
List_WL1[[length(List_WL1)+1]] = WL1}
WL2<-as.data.frame(unlist(List_WL1))
WL3<-ts(WL2)
WL4<-matrix(WL3,nrow=100,ncol=12,byrow=TRUE)
WL5<-matrix(apply(WL4,2,mean))
WL6<-matrix(apply(WL4,2,max))
WL7<-matrix(apply(WL4,2,min))
rownames(WL5)<-
c("JAN","FEB","MAR","APR","MAY","JUN","JUY","AUG","SEPT","OCT","NOV",
"DEC")
RESULTS_knn_mean<-cbind(ST5,REL5,SP5,EV5,WL5)
RESULTS_knn_max<-cbind(ST6,REL6,SP6,EV6,WL6)
RESULTS_knn_min<-cbind(ST7,REL7,SP7,EV7,WL7)

#mean_simRes2b#
#STORAGE#
List_STb<-list()
for (i in 1:100)
{STb<-matrix((List2[[i]][["storage"]]),nrow=47, ncol=12, byrow=TRUE)
List_STb[[length(List_STb)+1]] = STb}
List_ST1b<-list()
for(i in 1:100)
{ST1b<-apply(List_STb[[i]],2,mean)
List_ST1b[[length(List_ST1b)+1]] = ST1b}
ST2b<-as.data.frame(unlist(List_ST1b))
ST3b<-ts(ST2b)
ST4b<-matrix(ST3b,nrow=100,ncol=12,byrow=TRUE)
ST5b<-matrix(apply(ST4b,2,mean))
ST6b<-matrix(apply(ST4b,2,max))
ST7b<-matrix(apply(ST4b,2,min))
rownames(ST5b)<-
c("JAN","FEB","MAR","APR","MAY","JUN","JUY","AUG","SEPT","OCT","NOV",
"DEC")
#RELEASE#
List_RELb<-list()
for (i in 1:100)
{RELb<-matrix(List2[[i]][["releases"]],nrow=47, ncol=12, byrow=TRUE)
List_RELb[[length(List_RELb)+1]] = RELb}
List_REL1b<-list()
for(i in 1:100)

```



```

{REL1b<-apply(List_RELb[[i]],2,mean)
List_REL1b[[length(List_REL1b)+1]] = REL1b}
REL2b<-as.data.frame(unlist(List_REL1b))
REL3b<-ts(REL2b)
REL4b<-matrix(REL3b,nrow=100,ncol=12,byrow=TRUE)
REL5b<-matrix(apply(REL4b,2,mean))
REL6b<-matrix(apply(REL4b,2,max))
REL7b<-matrix(apply(REL4b,2,min))
rownames(REL5b)<-
c("JAN","FEB","MAR","APR","MAY","JUN","JUY","AUG","SEPT","OCT","NOV",
"DEC")
#EVAPORATION#
List_EVb<-list()
for (i in 1:100)
{EVb<-matrix(List2[[i]][["evaporation"]],nrow=47, ncol=12, byrow=TRUE)
List_EVb[[length(List_EVb)+1]] = EVb}
List_EV1b<-list()
for(i in 1:100)
{EV1b<-apply(List_EVb[[i]],2,mean)
List_EV1b[[length(List_EV1b)+1]] = EV1b}
EV2b<-as.data.frame(unlist(List_EV1b))
EV3b<-ts(EV2b)
EV4b<-matrix(EV3b,nrow=100,ncol=12,byrow=TRUE)
EV5b<-matrix(apply(EV4b,2,mean))
EV6b<-matrix(apply(EV4b,2,max))
EV7b<-matrix(apply(EV4b,2,min))
rownames(EV5b)<-
c("JAN","FEB","MAR","APR","MAY","JUN","JUY","AUG","SEPT","OCT","NOV",
"DEC")
#SPILL#
List_SPb<-list()
for (i in 1:100)
{SPb<-matrix(List2[[i]][["spill"]],nrow=47, ncol=12, byrow=TRUE)
List_SPb[[length(List_SPb)+1]] = SPb}
List_SP1b<-list()
for(i in 1:100)
{SP1b<-apply(List_SPb[[i]],2,mean)
List_SP1b[[length(List_SP1b)+1]] = SP1b}
SP2b<-as.data.frame(unlist(List_SP1b))
SP3b<-ts(SP2b)
SP4b<-matrix(SP3b,nrow=100,ncol=12,byrow=TRUE)
SP5b<-matrix(apply(SP4b,2,mean))
SP6b<-matrix(apply(SP4b,2,max))
SP7b<-matrix(apply(SP4b,2,min))
rownames(SP5b)<-
c("JAN","FEB","MAR","APR","MAY","JUN","JUY","AUG","SEPT","OCT","NOV",
"DEC")
#WATER_LEVEL#
List_WLb<-list()
for (i in 1:100)
{WLb<-matrix(List2[[i]][["water_level"]],nrow=47, ncol=12, byrow=TRUE)
List_WLb[[length(List_WLb)+1]] = WLb}
List_WL1b<-list()
for(i in 1:100)
{WL1b<-apply(List_WLb[[i]],2,mean)

```

```
List_WL1b[[length(List_WL1b)+1]] = WL1b}
WL2b<-as.data.frame(unlist(List_WL1b))
WL3b<-ts(WL2b)
WL4b<-matrix(WL3b,nrow=100,ncol=12,byrow=TRUE)
WL5b<-matrix(apply(WL4b,2,mean))
WL6b<-matrix(apply(WL4b,2,max))
WL7b<-matrix(apply(WL4b,2,min))
rownames(WL5b)<-
c("JAN","FEB","MAR","APR","MAY","JUN","JUY","AUG","SEPT","OCT","NOV",
"DEC")
```

```
RESULTS_parma_mean<-cbind(ST5b,REL5b,SP5b,EV5b,WL5b)
RESULTS_parma_max<-cbind(ST6b,REL6b,SP6b,EV6b,WL6b)
RESULTS_parma_min<-cbind(ST7b,REL7b,SP7b,EV7b,WL7b)
```

```
#rrv#
List3 = list()
for (i in 1:100)
{rrv2a<-rrv(dirtyreps1_100[,i],capacity = 5, target =sum_demand1,
surface_area=1.3075,
max_depth=12 ,evap= evaporation1,
double_cycle= FALSE, plot=FALSE)
List3[[length(List3)+1]] = rrv2a}
```

```
List4 = list()
for (i in 1:100)
{rrv2b<-rrv(dirtyreps2_100[,i], capacity = 5, target =sum_demand1,
surface_area=1.3075,
max_depth=12 ,evap= evaporation1,
double_cycle= FALSE, plot=FALSE)
List4[[length(List4)+1]] = rrv2b}
#mean_rrv2a#
for( i in 1:100) { print((List3[[i]][["annual_reliability"]]))}
for( i in 1:100) { print(max(List3[[i]][["time_based_reliability"]]))}
for( i in 1:100) { print(max(List3[[i]][["volumetric_reliability"]]))}
for( i in 1:100) { print(max(List3[[i]][["resilience"]]))}
for( i in 1:100) { print(max(List3[[i]][["vulnerability"]]))}
#mean_rrv2b#
for( i in 1:100) { print((List4[[i]][["annual_reliability"]]))}
for( i in 1:100) { print(max(List4[[i]][["time_based_reliability"]]))}
for( i in 1:100) { print(max(List4[[i]][["volumetric_reliability"]]))}
for( i in 1:100) { print(max(List4[[i]][["resilience"]]))}
for( i in 1:100) { print(max(List4[[i]][["vulnerability"]]))}
```

```
#plots_random_time_series_7#
for (i in 6:7)
{timeseries7<-matrix(dirtyreps1_100[,i], nrow=47, ncol =12, byrow=TRUE )}
#PLOT_kNN_TIMESERIES7#
ST8a1<-as.data.frame(unlist(List1[[7]][["storage"]]))
ST8a2<-ts(ST8a1)
ST8a3<-matrix(ST8a2,nrow=47,ncol=12,byrow=TRUE)
ST8a4<-matrix(apply(ST8a3, 2,mean))
REL8a1<-as.data.frame(unlist(List1[[7]][["releases"]]))
```

```

REL8a2<-ts(REL8a1)
REL8a3<-matrix(REL8a2,nrow=47,ncol=12,byrow=TRUE)
REL8a4<-matrix(apply(REL8a3, 2,mean))
SP8a1<-as.data.frame(unlist(List1[[7]][["spill"]]))
SP8a2<-ts(SP8a1)
SP8a3<-matrix(SP8a2,nrow=47,ncol=12,byrow=TRUE)
SP8a4<-matrix(apply(SP8a3, 2,mean))
EV8a1<-as.data.frame(unlist(List1[[7]][["evaporation"]]))
EV8a2<-ts(EV8a1)
EV8a3<-matrix(EV8a2,nrow=47,ncol=12,byrow=TRUE)
EV8a4<-matrix(apply(EV8a3, 2,mean))
WL8a1<-as.data.frame(unlist(List1[[7]][["water_level"]]))
WL8a2<-ts(WL8a1)
WL8a3<-matrix(WL8a2,nrow=47,ncol=12,byrow=TRUE)
WL8a4<-matrix(apply(WL8a3, 2,mean))
#PLOT_PARMA_TIMESERIES7#
for (i in 6:7)
{timeseries7b<-matrix(dirtyreps2_100[,i], nrow=47, ncol=12, byrow=TRUE )}
ST8b1<-as.data.frame(unlist(List2[[7]][["storage"]]))
ST8b2<-ts(ST8b1)
ST8b3<-matrix(ST8b2,nrow=47,ncol=12,byrow=TRUE)
ST8b4<-matrix(apply(ST8b3, 2,mean))
REL8b1<-as.data.frame(unlist(List2[[7]][["releases"]]))
REL8b2<-ts(REL8b1)
REL8b3<-matrix(REL8b2,nrow=47,ncol=12,byrow=TRUE)
REL8b4<-matrix(apply(REL8b3, 2,mean))
SP8b1<-as.data.frame(unlist(List2[[7]][["spill"]]))
SP8b2<-ts(SP8b1)
SP8b3<-matrix(SP8b2,nrow=47,ncol=12,byrow=TRUE)
SP8b4<-matrix(apply(SP8b3, 2,mean))
EV8b1<-as.data.frame(unlist(List2[[7]][["evaporation"]]))
EV8b2<-ts(EV8b1)
EV8b3<-matrix(EV8b2,nrow=47,ncol=12,byrow=TRUE)
EV8b4<-matrix(apply(EV8b3, 2,mean))
WL8b1<-as.data.frame(unlist(List2[[7]][["water_level"]]))
WL8b2<-ts(WL8b1)
WL8b3<-matrix(WL8b2,nrow=47,ncol=12,byrow=TRUE)
WL8b4<-matrix(apply(WL8b3, 2,mean))

#presenting_simRes2_results#
png("STORAGE_knn.png", width = 4*ppi, height = 4*ppi,res=ppi)
plot(ST8a4, type="b", col="peachpuff4", xlab="time[months]",
ylab="volume[hm3]", main="STORAGE_Knn_Simulation_Results")
dev.off()
png("RELEASE_knn.png", width = 4*ppi, height = 4*ppi,res=ppi)
plot(REL8a4, type="b", col="peachpuff4", xlab="time[months]",
ylab="volume[hm3]", main="RELEASES_Knn_Simulation_Results")
dev.off()
png("SPILL_knn.png", width = 4*ppi, height = 4*ppi,res=ppi)
plot(SP8a4, type="b", col="peachpuff4", xlab="time[months]", ylab="volume[hm3]",
main="SPILL_Knn_Simulation_Results")
dev.off()
png("EVAPORATION_knn.png", width = 4*ppi, height = 4*ppi,res=ppi)
plot(EV8a4, type="b", col="peachpuff4", xlab="time[months]", ylab="[m]",
main="EVAPORATION_Knn_Simulation_Results")

```

```

dev.off()
png("WATER_LEVEL_knn.png", width = 4*ppi, height = 4*ppi,res=ppi)
plot(WL8a4, type="b", col="peachpuff4", xlab="time[months]", ylab="[m]",
main="WATER_LEVEL_Knn_Simulation_Results")
dev.off()

png("STORAGE_PARMA.png", width = 4*ppi, height = 4*ppi,res=ppi)
plot(ST8b4, type="b", col="violetred4", xlab="time[months]", ylab="volume[hm3]",
main="STORAGE_PARMA_Simulation_Results")
dev.off()
png("RELEASE_PARMA.png", width = 4*ppi, height = 4*ppi,res=ppi)
plot(REL8b4, type="b", col="violetred4", xlab="time[months]",
ylab="volume[hm3]", main="RELEASES_PARMA_Simulation_Results")
dev.off()
png("SPILL_PARMA.png", width = 4*ppi, height = 4*ppi,res=ppi)
plot(SP8b4, type="b", col="violetred4", xlab="time[months]", ylab="volume[hm3]",
main="SPILL_PARMA_Simulation_Results")
dev.off()
png("EVAPORATION_PARMA.png", width = 4*ppi, height = 4*ppi,res=ppi)
plot(EV8b4, type="b", col="violetred4", xlab="time[months]", ylab="[m]",
main="EVAPORATION_PARMA_Simulation_Results")
dev.off()
png("WATER_LEVEL_PARMA.png", width = 4*ppi, height = 4*ppi,res=ppi)
plot(WL8b4, type="b", col="violetred4", xlab="time[months]", ylab="[m]",
main="WATER_LEVEL_PARMA_Simulation_Results")
dev.off()

png("group_plot_simRes2A.png", width = 6*ppi, height = 6*ppi,res=ppi)
par(mfrow=c(3,2))
plot(ST8a4, type="b", col="peachpuff4", xlab="time[months]",
ylab="volume[hm3]", main="1.STORAGE")
plot(REL8a4, type="b", col="peachpuff4", xlab="time[months]",
ylab="volume[hm3]", main="2.RELEASES")
plot(SP8a4, type="b", col="peachpuff4", xlab="time[months]", ylab="volume[hm3]",
main="3.SPILL")
plot(EV8a4, type="b", col="peachpuff4", xlab="time[months]", ylab="[m]",
main="4.EVAPORATION")
plot(WL8a4, type="b", col="peachpuff4", xlab="time[months]", ylab="[m]",
main="5.WATER_LEVEL")
dev.off()
png("group_plot_simRes2b.png", width = 6*ppi, height = 6*ppi,res=ppi)
par(mfrow=c(3,2))
plot(ST8b4, type="b", col="violetred4", xlab="time[months]", ylab="volume[hm3]",
main="1.STORAGE")
plot(REL8b4, type="b", col="violetred4", xlab="time[months]",
ylab="volume[hm3]", main="2.RELEASES")
plot(SP8b4, type="b", col="violetred4", xlab="time[months]", ylab="volume[hm3]",
main="3.SPILL")
plot(EV8b4, type="b", col="violetred4", xlab="time[months]", ylab="[m]",
main="4.EVAPORATION")
plot(WL8b4, type="b", col="violetred4", xlab="time[months]", ylab="[m]",
main="5.WATER_LEVEL")
dev.off()
save.image(file = "gyrtwni.RData")

```

## Κάρλα

#INPUTS#

```
Discharge_karla <- read.table(file = "clipboard",
                             sep = "\t", header=FALSE)
evaporation <- read.table(file = "clipboard",
                          sep = "\t", header=FALSE)
volume_area <- read.table(file = "clipboard",
                          sep = "\t", header=FALSE)
demand_karla <- read.table(file = "clipboard",
                           sep = "\t", header=FALSE)
sum_demand <- read.table(file = "clipboard",
                          sep = "\t", header=FALSE)
demand_profile<- read.table(file = "clipboard",
                             sep = "\t", header=FALSE)
yield<- read.table(file = "clipboard",
                   sep = "\t", header=FALSE)
mean_capacity<- read.table(file = "clipboard",
                           sep = "\t", header=FALSE)
```

```
discharge_karla1<-as.vector(t(Discharge_karla))
evaporation1 <-as.vector(t(evaporation))
volume_area1<-as.matrix(volume_area)
demand_karla1<-as.vector(t(demand_karla))
sum_demand1<-as.vector(t(sum_demand))
demand_profile1<-as.vector(t(demand_profile))
yield1<-as.vector(t(yield))
#SET WORKING DIRECTORY#
setwd("C:\Users\athanassia\Desktop\Kar_Simulation")
load("karla.RData")
install.packages("WRSS")
install.packages("ggplot2")
install.packages(c("tidyverse", "gcookbook"))
library(WRSS)
library(ggplot2)
library(tidyverse)
library(gcookbook)
#WATER RESOURCES SYSTEM SIMULATION#
J1<-createJunction(name="pagasitikos",downstream=NA)
```

```
Res1<-createReservoir(name="karla",type='storage',priority=1,
                      netEvaporation=evaporation1,downstream =J1 ,
                      geometry=list(storageAreaTable=volume_area1,
                                     deadStorage= 57.01,
                                     capacity= 84.14))
R1<-createRiver(name="river", downstream=Res1, discharge=discharge_karla1)
D1<-createDemandSite(name ="demand_karla",demandTS=demand_karla1,
                     returnFlowFraction=0.1,suppliers=list(Res1),
                     downstream=NA,priority=1)
area<-createArea(name="karla",location="s.larissa",
                 simulation=list(start='1960-01-01',end='2006-12-31',
                                interval='month'))
area<-addObjectToArea(area,R1)
area<-addObjectToArea(area,Res1)
area<-addObjectToArea(area,D1)
area<-addObjectToArea(area,J1)
```

```

s<-as.list(simulated)
results<-
as.data.frame(simulated[["operation"]][["operation"]][["reservoirs"]][1][["operation"]][["sim_result"]])
## Not run:
plot(area)
simulated<-sim(area)
plot(simulated)
## End(Not run)
simulated<-sim(area)
plot(area)
ppi=300
a<-last_plot()
png("area.png", width = 4*ppi, height = 3*ppi,res=ppi)
plot(a)
dev.off()

inflow_demand_kar<-
as.data.frame(simulated[["operation"]][["operation"]][["demands"]][1][["operation"]][["inflow"]][["inflow (from: karla)"]])
demand_kar_ts<-ts(inflow_demand_kar)
demand_kar<-matrix(demand_kar_ts, nrow=47, ncol=12, byrow=TRUE)
mean_demand_kar<-as.matrix(apply(demand_kar,2,mean))
rownames(mean_demand_kar)<-
c("JAN","FEB","MAR","APR","MAY","JUN","JUY","AUG","SEPT","OCT","NOV","DEC")
png("demand_kar.png", width = 4*ppi, height = 4*ppi,res=ppi)
plot(mean_demand_kar, type="b", col="green", xlab="time[months]",
ylab="volume[hm3]", main="DEMAND KARLA")
dev.off()

outflow_river<-
as.data.frame(simulated[["operation"]][["operation"]][["rivers"]][1][["operation"]][["outflow"]][["outflow (to: karla)"]])
demand_river_ts<-ts(outflow_river)
demand_river<-matrix(demand_river_ts, nrow=47, ncol=12, byrow=TRUE)
mean_demand_river<-as.matrix(apply(demand_river,2,mean))
rownames(mean_demand_river)<-
c("JAN","FEB","MAR","APR","MAY","JUN","JUY","AUG","SEPT","OCT","NOV","DEC")
png("RIVER.png", width = 4*ppi, height = 4*ppi,res=ppi)
plot(mean_demand_river, type="b", col="purple", xlab="time[months]",
ylab="volume[hm3]", main="RIVER")
dev.off()

png("group_plot_WRSS_demands.png", width = 6*ppi, height = 3*ppi,res=ppi)
par(mfrow=c(1,2))
plot(mean_demand_kar, type="b", col="green", xlab="time[months]",
ylab="volume[hm3]", main="DEMAND KARLA")
plot(mean_demand_river, type="b", col="purple", xlab="time[months]",
ylab="volume[hm3]", main="RIVER")
dev.off()

#presenting_results_meanSimulated#
ppi<-300

```

```

#STORAGE#
storage_df<-
as.data.frame(s[["operation"]][["operation"]][["reservoirs"]][1][["operation"]][["sim
_result"]][["storage"]])
storage_ts<-ts(storage_df)
storage<-matrix(storage_ts, nrow=47, ncol=12, byrow=TRUE)
mean_storage<-as.matrix(apply(storage,2,mean))
max_storage<-as.matrix(apply(storage,2,max))
min_storage<-as.matrix(apply(storage,2,min))
rownames(mean_storage)<-
c("JAN","FEB","MAR","APR","MAY","JUN","JUY","AUG","SEPT","OCT","NOV
","DEC")
png("STORAGE.png", width = 4*ppi, height = 4*ppi,res=ppi)
plot(mean_storage, type="b", col="red", xlab="time[months]", ylab="volume[hm3]",
main="STORAGE")
dev.off()
#SPILL#
spill_df<-
as.data.frame(s[["operation"]][["operation"]][["reservoirs"]][1][["operation"]][["sim
_result"]][["spill"]])
spill_ts<-ts(spill_df)
spill<-matrix(spill_ts, nrow=47, ncol=12, byrow=TRUE)
mean_spill<-as.matrix(apply(spill,2,mean))
max_spill<-as.matrix(apply(spill,2,max))
min_spill<-as.matrix(apply(spill,2,min))
rownames(mean_spill)<-
c("JAN","FEB","MAR","APR","MAY","JUN","JUY","AUG","SEPT","OCT","NOV
","DEC")
png("SPILL.png", width = 4*ppi, height = 4*ppi,res=ppi)
plot(mean_spill, type="b", col="red", xlab="time[months]", ylab="volume[hm3]",
main="SPILL")
dev.off()
#LOSS#
loss_df<-
as.data.frame(simulated[["operation"]][["operation"]][["reservoirs"]][1][["operation
"]][["sim_result"]][["loss"]])
loss_ts<-ts(loss_df)
loss<-matrix(loss_ts, nrow=47, ncol=12, byrow=TRUE)
mean_loss<-as.matrix(apply(loss,2,mean))
max_loss<-as.matrix(apply(loss,2,max))
min_loss<-as.matrix(apply(loss,2,min))
rownames(mean_loss)<-
c("JAN","FEB","MAR","APR","MAY","JUN","JUY","AUG","SEPT","OCT","NOV
","DEC")
ppi<-300
png("LOSS.png", width = 4*ppi, height = 4*ppi,res=ppi)
plot(mean_loss, type="b", col="red", xlab="time[months]", ylab="volume[hm3]",
main="LOSS")
dev.off()
#RELEASE#
release_df<-
as.data.frame(s[["operation"]][["operation"]][["reservoirs"]][1][["operation"]][["sim
_result"]][["release"]])
release_ts<-ts(release_df)
release<-matrix(release_ts, nrow=47, ncol=12, byrow=TRUE)

```

```

mean_release<-as.matrix(apply(release,2,mean))
max_release<-as.matrix(apply(release,2,max))
min_release<-as.matrix(apply(release,2,min))
rownames(mean_storage)<-
c("JAN","FEB","MAR","APR","MAY","JUN","JUY","AUG","SEPT","OCT","NOV",
,"DEC")
png("RELEASE.png", width = 4*ppi, height = 4*ppi,res=ppi)
plot(mean_release, type="b", col="red", xlab="time[months]", ylab="volume[hm3]",
main="RELEASE")
dev.off()

png("group_plot_WRSS.png", width = 6*ppi, height = 6*ppi,res=ppi)
par(mfrow=c(2,2))
plot(mean_storage, type="b", col="red", xlab="time[months]", ylab="volume[hm3]",
main="1.STORAGE")
plot(mean_release, type="b", col="red", xlab="time[months]", ylab="volume[hm3]",
main="2.RELEASE")
plot(mean_spill, type="b", col="red", xlab="time[months]", ylab="volume[hm3]",
main="3.SPILL")
plot(mean_loss, type="b", col="red", xlab="time[months]", ylab="volume[hm3]",
main="4.LOSS")
dev.off()
wrss_results<-cbind(mean_storage,mean_spill,mean_loss,mean_release)
wrss_max<-cbind(max_storage,max_release,max_spill,max_loss)
wrss_min<-cbind(min_storage,min_release,min_spill,min_loss)
#BARPLOT#
#mean_evaporation<-as.matrix(apply(evaporation, 2,mean))
rownames(mean_evaporation)<-
c("JAN","FEB","MAR","APR","MAY","JUN","JUY","AUG","SEPT","OCT","NOV",
,"DEC")
mean_discharge<-as.matrix(apply(Discharge_karla, 2,mean))
rownames(mean_discharge)<-
c("JAN","FEB","MAR","APR","MAY","JUN","JUY","AUG","SEPT","OCT","NOV",
,"DEC")
mean_capacity_m<-(as.matrix(mean_capacity))
rownames(mean_capacity_m)<-
c("JAN","FEB","MAR","APR","MAY","JUN","JUY","AUG","SEPT","OCT","NOV",
,"DEC")
b1<-barplot(t(mean_storage), col="green", main="STORAGE",
xlab="time[months]", ylab="volume[hm3]")
b2<-barplot(t(mean_release), col="red", main="Release", xlab="time[months]",
ylab="volume[hm3]")
b3<-barplot(t(mean_spill), col="lightblue", main="SPILL", xlab="time[months]",
ylab="volume[hm3]")
b4<-barplot(t(mean_evaporation), col="black", main="EVAPORATION",
xlab="time[months]", ylab="[ m]")
b5<-barplot(t(mean_discharge), col="blue", main="IFLOW", xlab="time[months]",
ylab="volume[hm3]")
l1<-plot(t(mean_capacity_m),type="b", col="deeppink1",xlab="time[months]",
ylab="volume[hm3]",main="CAPACITY")
data<-matrix(data=c(mean_storage,mean_release,mean_spill,mean_evaporation,
mean_discharge,mean_capacity_m),nrow = 12,ncol=6, byrow = TRUE)
#ANALYSIS DESIGN AND OPERATION OF WATER SUPPLY#
install.packages("reservoir")
library(reservoir)

```



```

Q<-ts(discharge_karla1,start=c(1960,01) , end= c(2006,12), frequency = 12)
sum_demand2<-ts(sum_demand1,start=c(1960,01) , end= c(2006,12), frequency =
12)
simRes1<-simRes(Q, capacity = 84.14, target = sum_demand2,
               surface_area=35.45,
               max_depth=2.4, evap=evaporation1,
               double_cycle= FALSE, plot=TRUE)
#boxplotQ#
Q_matrix<-matrix(Q, nrow=47, ncol=12, byrow=TRUE)
colnames(Q_matrix)<-
c("JAN","FEB","MAR","APR","MAY","JUN","JUY","AUG","SEPT","OCT","NOV",
"DEC")
mean_Q<-as.matrix(apply(Q_matrix,2,mean))
max_Q<-as.matrix(apply(Q_matrix,2,max))
min_Q<-as.matrix(apply(Q_matrix,2,min))
sd_Q<-as.matrix(apply(Q_matrix,2,sd))
png("Q.png", width = 4*ppi, height = 4*ppi,res=ppi)
simRes1results<-cbind(mean_Q,sd_Q, max_Q, min_Q)
boxplot(Q_matrix,xlab="time[months]", ylab="discharge",
col=c("red","lightblue","green","purple"),
       main="Boxplot-discharge_Q")
dev.off()
png("Q2.png", width = 4*ppi, height = 4*ppi,res=ppi)
simRes1results<-cbind(mean_Q,sd_Q, max_Q, min_Q)
boxplot(Q_matrix,xlab="time[months]", ylab="discharge",
col=c("red","lightblue","green","purple"),
       main="Boxplot-discharge_Q", horizontal=FALSE, outline=FALSE)
dev.off()
#present_data_simRes1#
png("Spill_res.png", width = 4*ppi, height = 4*ppi,res=ppi)
spill_res<-as.data.frame(unlist(simRes1[["spill"]]))
spill_res0<-ts(spill_res)
spill_res1<-matrix(spill_res0, nrow=47, ncol=12, byrow=TRUE)
spill_res2<-matrix(apply(spill_res1,2,mean))
spill_res3<-matrix(apply(spill_res1,2,max))
spill_res4<-matrix(apply(spill_res1,2,min))
plot(spill_res2,type="b",col="blue", xlab="time[months]", ylab="volume[hm3]",
     main="SPILL")
dev.off()
png("Storage_res.png", width = 4*ppi, height = 4*ppi,res=ppi)
storage_res<-as.data.frame(unlist(simRes1[["storage"]]))
storage_res0<-ts(storage_res)
storage_res1<-matrix(storage_res0, nrow=47, ncol=12, byrow=TRUE)
storage_res2<-matrix(apply(storage_res1,2,mean))
storage_res3<-matrix(apply(storage_res1,2,max))
storage_res4<-matrix(apply(storage_res1,2,min))
plot(storage_res2,type="b", col="blue", xlab="time[months]", ylab="volume[hm3]",
     main="STORAGE")
dev.off()
png("Releases_res.png", width = 4*ppi, height = 4*ppi,res=ppi)
releases_res<-as.data.frame(unlist(simRes1[["releases"]]))
releases_res0<-ts(releases_res)
releases_res1<-matrix(releases_res0, nrow=47, ncol=12, byrow=TRUE)
releases_res2<-matrix(apply(releases_res1,2,mean))
releases_res3<-matrix(apply(releases_res1,2,max))

```

```

releases_res4<-matrix(apply(releases_res1,2,min))
plot(releases_res2, type="b", col="blue", xlab="time[months]", ylab="volume[hm3]",
main="Releases")
dev.off()
png("Water_level_res1.png", width = 4*ppi, height = 4*ppi,res=ppi)
water_level_res<-as.data.frame(unlist(simRes1[["water_level"]]))
water_level_res0<-ts(water_level_res)
water_level_res1<-matrix(water_level_res0, nrow=47, ncol=12, byrow=TRUE)
water_level_res2<-matrix((apply(water_level_res1,2,mean)))
water_level_res3<-matrix((apply(water_level_res1,2,max)))
water_level_res4<-matrix((apply(water_level_res1,2,min)))
plot(water_level_res2,type="b", col="blue", xlab="time[months]", ylab="[m]",
main="WATER_LEVEL")
dev.off()
png("evaporation_res1.png", width = 4*ppi, height = 4*ppi,res=ppi)
evaporation_res<-as.data.frame(unlist(simRes1[["evaporation"]]))
evaporation_res0<-ts(evaporation_res)
evaporation_res1<-matrix(evaporation_res0, nrow=47, ncol=12, byrow=TRUE)
evaporation_res2<-matrix(apply(evaporation_res1,2,mean))
evaporation_res3<-matrix(apply(evaporation_res1,2,max))
evaporation_res4<-matrix(apply(evaporation_res1,2,min))
plot(evaporation_res2,type="b", col="blue", xlab="time[months]", ylab="[m]",
main="EVAPORATION")
dev.off()
png("group_plot_simRes1.png", width = 6*ppi, height = 6*ppi,res=ppi)
par(mfrow=c(3,2))
plot(storage_res2,type="b",col="blue", xlab="time[months]", ylab="volume[hm3]",
main="1.STORAGE")
plot(spill_res2,type="b", col="blue", xlab="time[months]", ylab="volume[hm3]",
main="2.SPILL")
plot(releases_res2,type="b", col="blue", xlab="time[months]", ylab="volume[hm3]",
main="3.RELEASES")
plot(water_level_res2,type="b", col="blue", xlab="time[months]", ylab="[m]",
main="4.WATER_LEVEL")
plot(evaporation_res2,type="b", col="blue", xlab="time[months]", ylab="[m]",
main="5.EVAPORATION")
dev.off()
rrv1<-rrv(Q, capacity = 84.14, target = sum_demand2,
surface_area=35.45,
max_depth=2.4 ,evap= evaporation1,
double_cycle= FALSE, plot=FALSE)
simRes1results_mean<-cbind(storage_res2, releases_res2, spill_res2,
evaporation_res2, water_level_res2)
simRes1results_max<-cbind(storage_res3, releases_res3, spill_res3,
evaporation_res3, water_level_res3)
simRes1results_min<-cbind(storage_res4, releases_res4, spill_res4, evaporation_res4,
water_level_res4)

#convert to a 100-year montly timeseries#
set.seed(27)
dirtyreps1_100<-dirtyreps(Q, reps=100, method = "kNNboot" )
dirtyreps2_100<-dirtyreps(Q, reps=100, method = "PARMA")
mean(dirtyreps1_100); mean(Q)
sd(dirtyreps1_100); sd(Q)

```

```

#Presenting_timeseries_statistics#
replicates_knn<-matrix(dirtyreps1_100, nrow=56400, ncol=12, byrow=TRUE)
colnames(replicates_knn)<-
c("JAN", "FEB", "MAR", "APR", "MAY", "JUN", "JUY", "AUG", "SEPT", "OCT", "NOV", "DEC")
Listknn1 = list()
for (i in 1:100)
{ knn1<-matrix(dirtyreps1_100[,i],nrow=47, ncol=12, byrow=TRUE)
Listknn1[[length(Listknn1)+1]] = knn1 }
Listknn2=list()
for(i in 1:100)
{ knn2<-apply(Listknn1[[i]],2,mean)
Listknn2[[length(Listknn2)+1]] =knn2}
knn3<-as.data.frame(unlist(Listknn2))
knn4<-ts(knn3)
knn5<-matrix(knn4,nrow=100,ncol=12,byrow=TRUE)
knn6<-matrix(apply(knn5,2,mean))
knn7<-matrix(apply(knn5,2,max))
knn8<-matrix(apply(knn5,2,min))
knn9<-matrix(apply(knn5,2,sd))
replicates_knn_results<-cbind(knn6, knn9, knn7, knn8)
png("Timeseries100_knn.png", width = 4*ppi, height = 4*ppi,res=ppi)
boxplot(replicates_knn,xlab="time[months]", ylab="discharge",
col=c("red", "lightblue", "green", "purple"),
main="Boxplot-timeseries_knn_method",horizontal=FALSE, outline=FALSE)
dev.off()

replicates_parma<-matrix(dirtyreps2_100, nrow=56400, ncol=12, byrow=TRUE)
colnames(replicates_parma)<-
c("JAN", "FEB", "MAR", "APR", "MAY", "JUN", "JUY", "AUG", "SEPT", "OCT", "NOV", "DEC")
Listparma1 = list()
for (i in 1:100)
{ parma1<-matrix(dirtyreps2_100[,i],nrow=47, ncol=12, byrow=TRUE)
Listparma1[[length(Listparma1)+1]] = parma1 }
Listparma2=list()
for(i in 1:100)
{ parma2<-apply(Listparma1[[i]],2,mean)
Listparma2[[length(Listparma2)+1]] =parma2}
parma3<-as.data.frame(unlist(Listparma2))
parma4<-ts(parma3)
parma5<-matrix(parma4,nrow=100,ncol=12,byrow=TRUE)
parma6<-matrix(apply(parma5,2,mean))
parma7<-matrix(apply(parma5,2,max))
parma8<-matrix(apply(parma5,2,min))
parma9<-matrix(apply(parma5,2,sd))
replicates_parma_results<-cbind(parma6, parma9, parma7, parma8)
png("Timeseries100_parma.png",width = 4*ppi, height = 4*ppi,res=ppi)
boxplot(replicates_parma,xlab="time[months]", ylab="discharge",
col=c("red", "lightblue", "green", "purple"),
main="Boxplot-timeseries_PARMA_method",horizontal=FALSE,
outline=FALSE)
dev.off()

```

```

#timeseries_check1#
mean(mean_Q); mean(mean_replicates_knn)
mean(max_Q); mean(max_replicates_knn)
mean(min_Q); mean(min_replicates_knn)
mean(sd_Q); mean(sd_replicates_knn)
mean(mean_Q); mean(mean_replicates_parma)
mean(max_Q); mean(max_replicates_parma)
mean(min_Q); mean(min_replicates_parma)
mean(sd_Q); mean(sd_replicates_parma)

#knnboot method#
List1 = list()
for (i in 1:100)
{ Q1<-ts(dirtyreps1_100[,i],start=c(1960,01) , end= c(2006,12), frequency = 12)
simRes2a<-simRes(Q1,capacity = 84.14, target = sum_demand2,
                 surface_area=35.45,
                 max_depth=2.4 ,evap= evaporation1,
                 double_cycle= FALSE, plot=FALSE)
List1[[length(List1)+1]] = simRes2a }
#PARMA method#
List2 = list()
for (i in 1:100)
{ Q2<-ts(dirtyreps2_100[,i],start=c(1960,01) , end= c(2006,12), frequency = 12)
simRes2b<-simRes(Q2,capacity = 84.14, target = sum_demand2,
                 surface_area=35.45,
                 max_depth=2.4 ,evap= evaporation1,
                 double_cycle= FALSE, plot=FALSE)
List2[[length(List2)+1]] = simRes2b }

#mean_simRes2a#
#STORAGE#
List_ST<-list()
for (i in 1:100)
{ ST<-matrix((List1[[i]][["storage"]]),nrow=47, ncol=12, byrow=TRUE)
List_ST[[length(List_ST)+1]] = ST }
List_ST1<-list()
for(i in 1:100)
{ ST1<-apply(List_ST[[i]],2,mean)
List_ST1[[length(List_ST1)+1]] = ST1 }
ST2<-as.data.frame(unlist(List_ST1))
ST3<-ts(ST2)
ST4<-matrix(ST3,nrow=100,ncol=12,byrow=TRUE)
ST5<-matrix(apply(ST4,2,mean))
ST6<-matrix(apply(ST4,2,max))
ST7<-matrix(apply(ST4,2,min))
rownames(ST5)<-
c("JAN","FEB","MAR","APR","MAY","JUN","JUY","AUG","SEPT","OCT","NOV",
  "DEC")
#RELEASE#
List_REL<-list()
for (i in 1:100)
{ REL<-matrix(List1[[i]][["releases"]],nrow=47, ncol=12, byrow=TRUE)
List_REL[[length(List_REL)+1]] = REL }
List_REL1<-list()
for(i in 1:100)

```

```

{REL1<-apply(List_REL[[i]],2,mean)
List_REL1[[length(List_REL1)+1]] = REL1}
REL2<-as.data.frame(unlist(List_REL1))
REL3<-ts(REL2)
REL4<-matrix(REL3,nrow=100,ncol=12,byrow=TRUE)
REL5<-matrix(apply(REL4,2,mean))
REL6<-matrix(apply(REL4,2,max))
REL7<-matrix(apply(REL4,2,min))
rownames(REL5)<-
c("JAN","FEB","MAR","APR","MAY","JUN","JUY","AUG","SEPT","OCT","NOV",
"DEC")
#EVAPORATION#
List_EV<-list()
for (i in 1:100)
{EV<-matrix(List1[[i]][["evaporation"]],nrow=47, ncol=12, byrow=TRUE)
List_EV[[length(List_EV)+1]] = EV}
List_EV1<-list()
for(i in 1:100)
{EV1<-apply(List_EV[[i]],2,mean)
List_EV1[[length(List_EV1)+1]] = EV1}
EV2<-as.data.frame(unlist(List_EV1))
EV3<-ts(EV2)
EV4<-matrix(EV3,nrow=100,ncol=12,byrow=TRUE)
EV5<-matrix(apply(EV4,2,mean))
EV6<-matrix(apply(EV4,2,max))
EV7<-matrix(apply(EV4,2,min))
#SPILL#
List_SP<-list()
for (i in 1:100)
{SP<-matrix(List1[[i]][["spill"]],nrow=47, ncol=12, byrow=TRUE)
List_SP[[length(List_SP)+1]] = SP}
List_SP1<-list()
for(i in 1:100)
{SP1<-apply(List_SP[[i]],2,mean)
List_SP1[[length(List_SP1)+1]] = SP1}
SP2<-as.data.frame(unlist(List_SP1))
SP3<-ts(SP2)
SP4<-matrix(SP3,nrow=100,ncol=12,byrow=TRUE)
SP5<-matrix(apply(SP4,2,mean))
SP6<-matrix(apply(SP4,2,max))
SP7<-matrix(apply(SP4,2,min))
rownames(SP5)<-
c("JAN","FEB","MAR","APR","MAY","JUN","JUY","AUG","SEPT","OCT","NOV",
"DEC")
#WATER_LEVEL#
List_WL<-list()
for (i in 1:100)
{WL<-matrix(List1[[i]][["water_level"]],nrow=47, ncol=12, byrow=TRUE)
List_WL[[length(List_WL)+1]] = WL}
List_WL1<-list()
for(i in 1:100)
{WL1<-apply(List_WL[[i]],2,mean)
List_WL1[[length(List_WL1)+1]] = WL1}
WL2<-as.data.frame(unlist(List_WL1))
WL3<-ts(WL2)

```

```

WL4<-matrix(WL3,nrow=100,ncol=12,byrow=TRUE)
WL5<-matrix(apply(WL4,2,mean))
WL6<-matrix(apply(WL4,2,max))
WL7<-matrix(apply(WL4,2,min))
rownames(WL5)<-
c("JAN","FEB","MAR","APR","MAY","JUN","JUY","AUG","SEPT","OCT","NOV",
,"DEC")
RESULTS_knn_mean<-cbind(ST5,REL5,SP5,EV5,WL5)
RESULTS_knn_max<-cbind(ST6,REL6,SP6,EV6,WL6)
RESULTS_knn_min<-cbind(ST7,REL7,SP7,EV7,WL7)

#mean_simRes2b#
#STORAGE#
List_STb<-list()
for (i in 1:100)
{STb<-matrix((List2[[i]][["storage"]]),nrow=47, ncol=12, byrow=TRUE)
List_STb[[length(List_STb)+1]] = STb}
List_ST1b<-list()
for(i in 1:100)
{ST1b<-apply(List_STb[[i]],2,mean)
List_ST1b[[length(List_ST1b)+1]] = ST1b}
ST2b<-as.data.frame(unlist(List_ST1b))
ST3b<-ts(ST2b)
ST4b<-matrix(ST3b,nrow=100,ncol=12,byrow=TRUE)
ST5b<-matrix(apply(ST4b,2,mean))
ST6b<-matrix(apply(ST4b,2,max))
ST7b<-matrix(apply(ST4b,2,min))
rownames(ST5b)<-
c("JAN","FEB","MAR","APR","MAY","JUN","JUY","AUG","SEPT","OCT","NOV",
,"DEC")
#RELEASE#
List_RELb<-list()
for (i in 1:100)
{RELb<-matrix(List2[[i]][["releases"]],nrow=47, ncol=12, byrow=TRUE)
List_RELb[[length(List_RELb)+1]] = RELb}
List_REL1b<-list()
for(i in 1:100)
{REL1b<-apply(List_RELb[[i]],2,mean)
List_REL1b[[length(List_REL1b)+1]] = REL1b}
REL2b<-as.data.frame(unlist(List_REL1b))
REL3b<-ts(REL2b)
REL4b<-matrix(REL3b,nrow=100,ncol=12,byrow=TRUE)
REL5b<-matrix(apply(REL4b,2,mean))
REL6b<-matrix(apply(REL4b,2,max))
REL7b<-matrix(apply(REL4b,2,min))
rownames(REL5b)<-
c("JAN","FEB","MAR","APR","MAY","JUN","JUY","AUG","SEPT","OCT","NOV",
,"DEC")
#EVAPORATION#
List_EVb<-list()
for (i in 1:100)
{EVb<-matrix(List2[[i]][["evaporation"]],nrow=47, ncol=12, byrow=TRUE)
List_EVb[[length(List_EVb)+1]] = EVb}
List_EV1b<-list()
for(i in 1:100)

```

```

{EV1b<-apply(List_EVb[[i]],2,mean)
List_EV1b[[length(List_EV1b)+1]] = EV1b}
EV2b<-as.data.frame(unlist(List_EV1b))
EV3b<-ts(EV2b)
EV4b<-matrix(EV3b,nrow=100,ncol=12,byrow=TRUE)
EV5b<-matrix(apply(EV4b,2,mean))
EV6b<-matrix(apply(EV4b,2,max))
EV7b<-matrix(apply(EV4b,2,min))
rownames(EV5b)<-
c("JAN","FEB","MAR","APR","MAY","JUN","JUY","AUG","SEPT","OCT","NOV",
"DEC")
#SPILL#
List_SPb<-list()
for (i in 1:100)
{SPb<-matrix(List2[[i]][["spill"],nrow=47, ncol=12, byrow=TRUE)
List_SPb[[length(List_SPb)+1]] = SPb}
List_SP1b<-list()
for(i in 1:100)
{SP1b<-apply(List_SPb[[i]],2,mean)
List_SP1b[[length(List_SP1b)+1]] = SP1b}
SP2b<-as.data.frame(unlist(List_SP1b))
SP3b<-ts(SP2b)
SP4b<-matrix(SP3b,nrow=100,ncol=12,byrow=TRUE)
SP5b<-matrix(apply(SP4b,2,mean))
SP6b<-matrix(apply(SP4b,2,max))
SP7b<-matrix(apply(SP4b,2,min))
rownames(SP5b)<-
c("JAN","FEB","MAR","APR","MAY","JUN","JUY","AUG","SEPT","OCT","NOV",
"DEC")
#WATER_LEVEL#
List_WLb<-list()
for (i in 1:100)
{WLb<-matrix(List2[[i]][["water_level"],nrow=47, ncol=12, byrow=TRUE)
List_WLb[[length(List_WLb)+1]] = WLb}
List_WL1b<-list()
for(i in 1:100)
{WL1b<-apply(List_WLb[[i]],2,mean)
List_WL1b[[length(List_WL1b)+1]] = WL1b}
WL2b<-as.data.frame(unlist(List_WL1b))
WL3b<-ts(WL2b)
WL4b<-matrix(WL3b,nrow=100,ncol=12,byrow=TRUE)
WL5b<-matrix(apply(WL4b,2,mean))
WL6b<-matrix(apply(WL4b,2,max))
WL7b<-matrix(apply(WL4b,2,min))
rownames(WL5b)<-
c("JAN","FEB","MAR","APR","MAY","JUN","JUY","AUG","SEPT","OCT","NOV",
"DEC")

RESULTS_parma_mean<-cbind(ST5b,REL5b,SP5b,EV5b,WL5b)
RESULTS_parma_max<-cbind(ST6b,REL6b,SP6b,EV6b,WL6b)
RESULTS_parma_min<-cbind(ST7b,REL7b,SP7b,EV7b,WL7b)

```

```
#rrv#
```

```

List3 = list()
for (i in 1:100)
{rrv2a<-rrv(dirtyreps1_100[,i], capacity = 84.14, target = sum_demand2,
  surface_area=35.45,
  max_depth=2.4 ,evap= evaporation1,
  double_cycle= FALSE, plot=FALSE)
List3[[length(List3)+1]] = rrv2a}

List4 = list()
for (i in 1:100)
{rrv2b<-rrv(dirtyreps2_100[,i], capacity = 84.14, target = sum_demand2,
  surface_area=35.45,
  max_depth=2.4 ,evap= evaporation1,
  double_cycle= FALSE, plot=FALSE)
List4[[length(List4)+1]] = rrv2b}
#mean_rrv2a#
for( i in 1:100) { print((List3[[i]][["annual_reliability"]]))}
for( i in 1:100) { print(max(List3[[i]][["time_based_reliability"]]))}
for( i in 1:100) { print(max(List3[[i]][["volumetric_reliability"]]))}
for( i in 1:100) { print(max(List3[[i]][["resilience"]]))}
for( i in 1:100) { print(max(List3[[i]][["vulnerability"]]))}
#mean_rrv2b#
for( i in 1:100) { print((List4[[i]][["annual_reliability"]]))}
for( i in 1:100) { print(max(List4[[i]][["time_based_reliability"]]))}
for( i in 1:100) { print(max(List4[[i]][["volumetric_reliability"]]))}
for( i in 1:100) { print(max(List4[[i]][["resilience"]]))}
for( i in 1:100) { print(max(List4[[i]][["vulnerability"]]))}

#plots_random_time_series_7#
for (i in 6:7)
{timeseries7<-matrix(dirtyreps1_100[,i], nrow=47, ncol=12, byrow=TRUE )}
#PLOT_kNN_TIMESERIES7#
ST8a1<-as.data.frame(unlist(List1[[7]][["storage"]]))
ST8a2<-ts(ST8a1)
ST8a3<-matrix(ST8a2,nrow=47,ncol=12,byrow=TRUE)
ST8a4<-matrix(apply(ST8a3, 2,mean))
REL8a1<-as.data.frame(unlist(List1[[7]][["releases"]]))
REL8a2<-ts(REL8a1)
REL8a3<-matrix(REL8a2,nrow=47,ncol=12,byrow=TRUE)
REL8a4<-matrix(apply(REL8a3, 2,mean))
SP8a1<-as.data.frame(unlist(List1[[7]][["spill"]]))
SP8a2<-ts(SP8a1)
SP8a3<-matrix(SP8a2,nrow=47,ncol=12,byrow=TRUE)
SP8a4<-matrix(apply(SP8a3, 2,mean))
EV8a1<-as.data.frame(unlist(List1[[7]][["evaporation"]]))
EV8a2<-ts(EV8a1)
EV8a3<-matrix(EV8a2,nrow=47,ncol=12,byrow=TRUE)
EV8a4<-matrix(apply(EV8a3, 2,mean))
WL8a1<-as.data.frame(unlist(List1[[7]][["water_level"]]))
WL8a2<-ts(WL8a1)
WL8a3<-matrix(WL8a2,nrow=47,ncol=12,byrow=TRUE)
WL8a4<-matrix(apply(WL8a3, 2,mean))
#PLOT_PARMA_TIMESERIES7#
for (i in 6:7)

```



```

{timeseries7b<-matrix(dirtyreps2_100[,i], nrow=47, ncol=12, byrow=TRUE )}
ST8b1<-as.data.frame(unlist(List2[[7]][["storage"]]))
ST8b2<-ts(ST8b1)
ST8b3<-matrix(ST8b2,nrow=47,ncol=12,byrow=TRUE)
ST8b4<-matrix(apply(ST8b3, 2,mean))
REL8b1<-as.data.frame(unlist(List2[[7]][["releases"]]))
REL8b2<-ts(REL8b1)
REL8b3<-matrix(REL8b2,nrow=47,ncol=12,byrow=TRUE)
REL8b4<-matrix(apply(REL8b3, 2,mean))
SP8b1<-as.data.frame(unlist(List2[[7]][["spill"]]))
SP8b2<-ts(SP8b1)
SP8b3<-matrix(SP8b2,nrow=47,ncol=12,byrow=TRUE)
SP8b4<-matrix(apply(SP8b3, 2,mean))
EV8b1<-as.data.frame(unlist(List2[[7]][["evaporation"]]))
EV8b2<-ts(EV8b1)
EV8b3<-matrix(EV8b2,nrow=47,ncol=12,byrow=TRUE)
EV8b4<-matrix(apply(EV8b3, 2,mean))
WL8b1<-as.data.frame(unlist(List2[[7]][["water_level"]]))
WL8b2<-ts(WL8b1)
WL8b3<-matrix(WL8b2,nrow=47,ncol=12,byrow=TRUE)
WL8b4<-matrix(apply(WL8b3, 2,mean))
#presenting_simRes2_results#
png("STORAGE_knn.png", width = 4*ppi, height = 4*ppi,res=ppi)
plot(ST8a4, type="b", col="peachpuff4", xlab="time[months]",
ylab="volume[hm3]", main="STORAGE_Knn_Simulation_Results")
dev.off()
png("RELEASE_knn.png", width = 4*ppi, height = 4*ppi,res=ppi)
plot(REL8a4, type="b", col="peachpuff4", xlab="time[months]",
ylab="volume[hm3]", main="RELEASES_Knn_Simulation_Results")
dev.off()
png("SPILL_knn.png", width = 4*ppi, height = 4*ppi,res=ppi)
plot(SP8a4, type="b", col="peachpuff4", xlab="time[months]", ylab="volume[hm3]",
main="SPILL_Knn_Simulation_Results")
dev.off()
png("EVAPORATION_knn.png", width = 4*ppi, height = 4*ppi,res=ppi)
plot(EV8a4, type="b", col="peachpuff4", xlab="time[months]", ylab="[m]",
main="EVAPORATION_Knn_Simulation_Results")
dev.off()
png("WATER_LEVEL_knn.png", width = 4*ppi, height = 4*ppi,res=ppi)
plot(WL8a4, type="b", col="peachpuff4", xlab="time[months]", ylab="[m]",
main="WATER_LEVEL_Knn_Simulation_Results")
dev.off()
png("STORAGE_PARMA.png", width = 4*ppi, height = 4*ppi,res=ppi)
plot(ST8b4, type="b", col="violetred4", xlab="time[months]", ylab="volume[hm3]",
main="STORAGE_PARMA_Simulation_Results")
dev.off()
png("RELEASE_PARMA.png", width = 4*ppi, height = 4*ppi,res=ppi)
plot(REL8b4, type="b", col="violetred4", xlab="time[months]",
ylab="volume[hm3]", main="RELEASES_PARMA_Simulation_Results")
dev.off()
png("SPILL_PARMA.png", width = 4*ppi, height = 4*ppi,res=ppi)
plot(SP8b4, type="b", col="violetred4", xlab="time[months]", ylab="volume[hm3]",
main="SPILL_PARMA_Simulation_Results")
dev.off()
png("EVAPORATION_PARMA.png", width = 4*ppi, height = 4*ppi,res=ppi)

```

```

plot(EV8b4, type="b", col="violetred4", xlab="time[months]", ylab="[m]",
main="EVAPORATION_PARMA_Simulation_Results")
dev.off()
png("WATER_LEVEL_PARMA.png", width = 4*ppi, height = 4*ppi,res=ppi)
plot(WL8b4, type="b", col="violetred4", xlab="time[months]", ylab="[m]",
main="WATER_LEVEL_PARMA_Simulation_Results")
dev.off()
png("group_plot_simRes2A.png", width = 6*ppi, height = 6*ppi,res=ppi)
par(mfrow=c(3,2))
plot(ST8a4, type="b", col="peachpuff4", xlab="time[months]",
ylab="volume[hm3]", main="1.STORAGE")
plot(REL8a4, type="b", col="peachpuff4", xlab="time[months]",
ylab="volume[hm3]", main="2.RELEASES")
plot(SP8a4, type="b", col="peachpuff4", xlab="time[months]", ylab="volume[hm3]",
main="3.SPILL")
plot(EV8a4, type="b", col="peachpuff4", xlab="time[months]", ylab="[m]",
main="4.EVAPORATION")
plot(WL8a4, type="b", col="peachpuff4", xlab="time[months]", ylab="[m]",
main="5.WATER_LEVEL")
dev.off()
png("group_plot_simRes2b.png", width = 6*ppi, height = 6*ppi,res=ppi)
par(mfrow=c(3,2))
plot(ST8b4, type="b", col="violetred4", xlab="time[months]", ylab="volume[hm3]",
main="1.STORAGE")
plot(REL8b4, type="b", col="violetred4", xlab="time[months]",
ylab="volume[hm3]", main="2.RELEASES")
plot(SP8b4, type="b", col="violetred4", xlab="time[months]", ylab="volume[hm3]",
main="3.SPILL")
plot(EV8b4, type="b", col="violetred4", xlab="time[months]", ylab="[m]",
main="4.EVAPORATION")
plot(WL8b4, type="b", col="violetred4", xlab="time[months]", ylab="[m]",
main="5.WATER_LEVEL")
dev.off()

```

```

save.image(file = "karla.RData")

```

### **Σμόκοβο**

```

#INPUTS#
Discharge <- read.table(file = "clipboard",
                        sep = "\t", header=FALSE)
evaporation <- read.table(file = "clipboard",
                          sep = "\t", header=FALSE)
volume_area <- read.table(file = "clipboard",
                          sep = "\t", header=FALSE)
irrigation <- read.table(file = "clipboard",
                        sep = "\t", header=FALSE)
water_supply <- read.table(file = "clipboard",
                          sep = "\t", header=FALSE)
env_flow <- read.table(file = "clipboard",
                      sep = "\t", header=FALSE)
sum_demand <- read.table(file = "clipboard",
                        sep = "\t", header=FALSE)
demand_profile<- read.table(file = "clipboard",
                          sep = "\t", header=FALSE)
yield<- read.table(file = "clipboard",
                  sep = "\t", header=FALSE)

```

```

mean_capacity<- read.table(file = "clipboard",
                           sep = "\t", header=FALSE)
discharge1<-as.vector(t(Discharge))
evaporation1 <-as.vector(t(evaporation))
volume_area1<-as.matrix(volume_area)
irrigation1<-as.vector(t(irrigation))
water_supply1<-as.vector(t(water_supply))
env_flow1<-as.vector(t(env_flow))
sum_demand1<-as.vector(t(sum_demand))
demand_profile1<-as.vector(t(demand_profile))
yield1<-as.vector(t(yield))
#SET WORKING DIRECTORY#
setwd("C:\Users\athanassia\Desktop\SM_Simulation")
load("smokovo1A.RData")
#WATER RESOURCES SYSTEM SIMULATION#
install.packages("WRSS")
install.packages("ggplot2")
install.packages(c("tidyverse", "gcookbook"))
library(WRSS)
library(ggplot2)
library(tidyverse)
library(gcookbook)
J1<-createJunction(name="kedros")
Res1<-createReservoir(name="smokovo",type='storage',priority=1,
                      netEvaporation= evaporation1,
                      initialStorage = 209.2,
                      downstream = J1 ,
                      geometry=list(deadStorage= 27.1,
                                    capacity= 209.2,
                                    storageAreaTable=volume_area1))
R1<-createRiver(name="sofaditis", downstream=Res1 ,discharge=discharge1)
D1<-createDemandSite(name ="water_supply", demandTS=water_supply1,
                     suppliers=list(Res1),
                     priority=1)
D2<-createDemandSite(name ="irrigation", demandTS=irrigation1,
                     suppliers=list(Res1),
                     priority=3)
D3<-createDemandSite(name ="env_flow",demandTS=env_flow1,
                     returnFlowFraction=0.1,suppliers=list(Res1),
                     downstream=J1,priority=2)

area<-createArea(name="Res_smok",location="smokovo",
                 simulation=list(start='1968-01-01',
                                end='1994-12-31',
                                interval='month'))

area<-addObjectToArea(area,R1)
area<-addObjectToArea(area,Res1)
area<-addObjectToArea(area,D1)
area<-addObjectToArea(area,D2)
area<-addObjectToArea(area,D3)
area<-addObjectToArea(area,J1)
## Not run:
plot(area)
simulated<-sim(area)
plot(simulated)

```

```

## End(Not run)
simulated<-sim(area)
#presenting_area#
ppi=300
a<-last_plot()
png("area.png", width = 4*ppi, height = 3*ppi,res=ppi)
plot(a)
dev.off()

inflow_ir<-
as.data.frame(simulated[["operation"]][["operation"]][["demands"]][[2]][["operation"]
]][["inflow"]][["inflow (from: smokovo)"]])
demand_ir_ts<-ts(inflow_ir)
demand_ir<-matrix(demand_ir_ts, nrow=27, ncol=12, byrow=TRUE)
mean_demand_irrigation<-as.matrix(apply(demand_ir,2,mean))
rownames(mean_demand_irrigation)<-
c("JAN","FEB","MAR","APR","MAY","JUN","JUY","AUG","SEPT","OCT","NOV
","DEC")
png("IRRIGATION.png", width = 4*ppi, height = 4*ppi,res=ppi)
plot(mean_demand_irrigation, type="b", col="green", xlab="time[ months]",
ylab="volume[hm3]", main="IRRIGATION")
dev.off()

inflow_water_supply<-
as.data.frame(simulated[["operation"]][["operation"]][["demands"]][[3]][["operation"]
]][["inflow"]][["inflow (from: smokovo)"]])
demand_ws_ts<-ts(inflow_water_supply)
demand_ws<-matrix(demand_ws_ts, nrow=27, ncol=12, byrow=TRUE)
mean_demand_water_supply<-as.matrix(apply(demand_ws,2,mean))
rownames(mean_demand_water_supply)<-
c("JAN","FEB","MAR","APR","MAY","JUN","JUY","AUG","SEPT","OCT","NOV
","DEC")
png("WATER_SUPPLY.png", width = 4*ppi, height = 4*ppi,res=ppi)
plot(mean_demand_water_supply, type="b", col="darkblue", xlab="time[months]",
ylab="volume[hm3]", main="WATER_SUPPLY")
dev.off()

inflow_env_flow<-
as.data.frame(simulated[["operation"]][["operation"]][["demands"]][[2]][["operation"]
]][["inflow"]][["inflow (from: smokovo)"]])
demand_env_ts<-ts(inflow_env_flow)
demand_env<-matrix(demand_env_ts, nrow=27, ncol=12, byrow=TRUE)
mean_demand_env_flow<-as.matrix(apply(demand_env,2,mean))
rownames(mean_demand_env_flow)<-
c("JAN","FEB","MAR","APR","MAY","JUN","JUY","AUG","SEPT","OCT","NOV
","DEC")
png("ENVIRONMENTAL_FLOW.png", width = 4*ppi, height = 4*ppi,res=ppi)
plot(mean_demand_env_flow, type="b", col="orange", xlab="time[months]",
ylab="volume[hm3]", main="ENVIRONMENTAL_FLOW")
dev.off()

outflow_river<-
as.data.frame(simulated[["operation"]][["operation"]][["rivers"]][[1]][["operation"]][
["outflow"]][["outflow (to: smokovo)"]])
demand_river_ts<-ts(outflow_river)

```

```

demand_river<-matrix(demand_river_ts, nrow=27, ncol=12, byrow=TRUE)
mean_demand_river<-as.matrix(apply(demand_river,2,mean))
rownames(mean_demand_river)<-
c("JAN", "FEB", "MAR", "APR", "MAY", "JUN", "JUY", "AUG", "SEPT", "OCT", "NOV",
"DEC")
png("RIVER.png", width = 4*ppi, height = 4*ppi,res=ppi)
plot(mean_demand_river, type="b", col="purple", xlab="time[months]",
ylab="volume[hm3]", main="RIVER")
dev.off()

png("group_plot_WRSS_demands.png", width = 6*ppi, height = 6*ppi,res=ppi)
par(mfrow=c(2,2))
plot(mean_demand_river, type="b", col="purple", xlab="time[months]",
ylab="volume[hm3]", main="1.RIVER")
plot(mean_demand_irrigation, type="b", col="green", xlab="time[months]",
ylab="volume[hm3]", main="2.IRRIGATION")
plot(mean_demand_water_supply, type="b", col="darkblue", xlab="time[months]",
ylab="volume[hm3]", main="3.WATER_SUPPLY")
plot(mean_demand_env_flow, type="b", col="orange", xlab="time[months]",
ylab="volume[hm3]", main="4.ENVIRONMENTAL_FLOW")
dev.off()
s<-as.list(simulated)
results<-
as.data.frame(simulated[["operation"]][["operation"]][["reservoirs"]][1][["operation"]][["sim_result"]])

#presenting_results_meanSimulated#
ppi<-300
#STORAGE#
storage_df<-
as.data.frame(s[["operation"]][["operation"]][["reservoirs"]][1][["operation"]][["sim_result"]][["storage"]])
storage_ts<-ts(storage_df)
storage<-matrix(storage_ts, nrow=27, ncol=12, byrow=TRUE)
mean_storage<-as.matrix(apply(storage,2,mean))
max_storage<-as.matrix(apply(storage,2,max))
min_storage<-as.matrix(apply(storage,2,min))
rownames(mean_storage)<-
c("JAN", "FEB", "MAR", "APR", "MAY", "JUN", "JUY", "AUG", "SEPT", "OCT", "NOV",
"DEC")
png("STORAGE.png", width = 4*ppi, height = 4*ppi,res=ppi)
plot(mean_storage, type="b", col="red", xlab="time[months]", ylab="volume[hm3]",
main="STORAGE")
dev.off()
#SPILL#
spill_df<-
as.data.frame(s[["operation"]][["operation"]][["reservoirs"]][1][["operation"]][["sim_result"]][["spill"]])
spill_ts<-ts(spill_df)
spill<-matrix(spill_ts, nrow=27, ncol=12, byrow=TRUE)
mean_spill<-as.matrix(apply(spill,2,mean))
max_spill<-as.matrix(apply(spill,2,max))
min_spill<-as.matrix(apply(spill,2,min))

```

```

rownames(mean_spill)<-
c("JAN","FEB","MAR","APR","MAY","JUN","JUY","AUG","SEPT","OCT","NOV",
"DEC")
png("SPILL.png", width = 4*ppi, height = 4*ppi,res=ppi)
plot(mean_spill, type="b", col="red", xlab="time[months]", ylab="volume[hm3]",
main="SPILL")
dev.off()
#LOSS#
loss_df<-
as.data.frame(simulated[["operation"]][["operation"]][["reservoirs"]][1][["operation"]][["sim_result"]][["loss"]])
loss_ts<-ts(loss_df)
loss<-matrix(loss_ts, nrow=27, ncol=12, byrow=TRUE)
mean_loss<-as.matrix(apply(loss,2,mean))
max_loss<-as.matrix(apply(loss,2,max))
min_loss<-as.matrix(apply(loss,2,min))
rownames(mean_loss)<-
c("JAN","FEB","MAR","APR","MAY","JUN","JUY","AUG","SEPT","OCT","NOV",
"DEC")
ppi<-300
png("LOSS.png", width = 4*ppi, height = 4*ppi,res=ppi)
plot(mean_loss, type="b", col="red", xlab="time[months]", ylab="volume[hm3]",
main="LOSS")
dev.off()
#RELEASE#
release_df<-
as.data.frame(s[["operation"]][["operation"]][["reservoirs"]][1][["operation"]][["sim_result"]][["release"]])
release_ts<-ts(release_df)
release<-matrix(release_ts, nrow=27, ncol=12, byrow=TRUE)
mean_release<-as.matrix(apply(release,2,mean))
max_release<-as.matrix(apply(release,2,max))
min_release<-as.matrix(apply(release,2,min))
rownames(mean_storage)<-
c("JAN","FEB","MAR","APR","MAY","JUN","JUY","AUG","SEPT","OCT","NOV",
"DEC")
png("RELEASE.png", width = 4*ppi, height = 4*ppi,res=ppi)
plot(mean_release, type="b", col="red", xlab="time[months]", ylab="volume[hm3]",
main="RELEASE")
dev.off()
png("group_plot_WRSS.png", width = 6*ppi, height = 6*ppi,res=ppi)
par(mfrow=c(2,2))
plot(mean_storage, type="b", col="red", xlab="time[months]", ylab="volume[hm3]",
main="1.STORAGE")
plot(mean_release, type="b", col="red", xlab="time[months]", ylab="volume[hm3]",
main="2.RELEASE")
plot(mean_spill, type="b", col="red", xlab="time[months]", ylab="volume[hm3]",
main="3.SPILL")
plot(mean_loss, type="b", col="red", xlab="time[months]", ylab="volume[hm3]",
main="4.LOSS")
dev.off()
wrss_max<-cbind(max_storage,max_release,max_spill,max_loss)
wrss_min<-cbind(min_storage,min_release,min_spill,min_loss)

#BARPLOT#

```

```

mean_evaporation<-as.matrix(apply(evaporation, 2,mean))
rownames(mean_evaporation)<-
c("JAN","FEB","MAR","APR","MAY","JUN","JUY","AUG","SEPT","OCT","NOV",
"DEC")
mean_discharge<-as.matrix(apply(Discharge, 2,mean))
rownames(mean_discharge)<-
c("JAN","FEB","MAR","APR","MAY","JUN","JUY","AUG","SEPT","OCT","NOV",
"DEC")
mean_capacity_m<-(as.matrix(mean_capacity))
rownames(mean_capacity_m)<-
c("JAN","FEB","MAR","APR","MAY","JUN","JUY","AUG","SEPT","OCT","NOV",
"DEC")
b1<-barplot(t(mean_storage), col="green", main="STORAGE",
xlab="time[months]", ylab="volume[hm3]")
b2<-barplot(t(mean_release), col="red", main="Release", xlab="time[months]",
ylab="volume[hm3]")
b3<-barplot(t(mean_spill), col="lightblue", main="SPILL", xlab="time[months]",
ylab="volume[hm3]")
b4<-barplot(t(mean_evaporation), col="black", main="EVAPORATION",
xlab="time[months]", ylab="[m]")
b5<-barplot(t(mean_discharge), col="blue", main="IFLOW", xlab="time[months]",
ylab="volume[hm3]")
l1<-plot(t(mean_capacity_m),type="b", col="deeppink1",xlab="time[months]",
ylab="volume[hm3]",main="CAPACITY")

data<-matrix(data=c(mean_storage,mean_release,mean_spill,mean_evaporation,
mean_discharge,mean_capacity_m),nrow = 12,ncol=6, byrow = TRUE)
#ANALYSIS DESIGN AND OPERATION OF WATER SUPPLY#
install.packages("reservoir")
library(reservoir)
#set discharge as timeseries#
Q<-ts(discharge1,start=c(1968,01) , end= c(1994,12), frequency = 12)
sum_demand2<-ts(sum_demand1,start=c(1968,01) , end= c(1994,12), frequency =
12)
simRes1<-simRes(Q, capacity = 209.2, target =sum_demand2,
surface_area=7.3,
max_depth=40.75 ,evap= evaporation1,
double_cycle= FALSE, plot=TRUE)
#boxplotQ#
Q_matrix<-matrix(Q, nrow=27, ncol=12, byrow=TRUE)
colnames(Q_matrix)<-
c("JAN","FEB","MAR","APR","MAY","JUN","JUY","AUG","SEPT","OCT","NOV",
"DEC")
mean_Q<-as.matrix(apply(Q_matrix,2,mean))
max_Q<-as.matrix(apply(Q_matrix,2,max))
min_Q<-as.matrix(apply(Q_matrix,2,min))
sd_Q<-as.matrix(apply(Q_matrix,2,sd))
png("Q.png", width = 4*ppi, height = 4*ppi,res=ppi)
boxplot(Q_matrix,xlab="time[months]", ylab="discharge",
col=c("red","lightblue","green","purple"),
main="Boxplot-discharge_Q")
dev.off()
png("Q2.png", width = 4*ppi, height = 4*ppi,res=ppi)
boxplot(Q_matrix,xlab="time[months]", ylab="discharge",
col=c("red","lightblue","green","purple"),

```

```

    main="Boxplot-discharge_Q", horizontal=FALSE, outline=FALSE)
dev.off()
Q_statistics<-cbind(mean_Q,sd_Q,max_Q,min_Q)

#present_data_simRes1#
png("Spill_res.png", width = 4*ppi, height = 4*ppi,res=ppi)
spill_res<-as.data.frame(unlist(simRes1[["spill"]]))
spill_res0<-ts(spill_res)
spill_res1<-matrix(spill_res0, nrow=27, ncol=12, byrow=TRUE)
spill_res2<-matrix(apply(spill_res1,2,mean))
spill_res3<-matrix(apply(spill_res1,2,max))
spill_res4<-matrix(apply(spill_res1,2,min))
plot(spill_res2,type="b",col="blue", xlab="time[months]", ylab="volume[hm3]",
main="SPILL")
dev.off()
png("Storage_res.png", width = 4*ppi, height = 4*ppi,res=ppi)
storage_res<-as.data.frame(unlist(simRes1[["storage"]]))
storage_res0<-ts(storage_res)
storage_res1<-matrix(storage_res0, nrow=27, ncol=12, byrow=TRUE)
storage_res2<-matrix(apply(storage_res1,2,mean))
storage_res3<-matrix(apply(storage_res1,2,max))
storage_res4<-matrix(apply(storage_res1,2,min))
plot(storage_res2 ,type="b", col="blue ", xlab="time[months]", ylab="volume[hm3]",
main="STORAGE")
dev.off()
png("Releases_res.png", width = 4*ppi, height = 4*ppi,res=ppi)
releases_res<-as.data.frame(unlist(simRes1[["releases"]]))
releases_res0<-ts(releases_res)
releases_res1<-matrix(releases_res0, nrow=27, ncol=12, byrow=TRUE)
releases_res2<-matrix(apply(releases_res1,2,mean))
releases_res3<-matrix(apply(releases_res1,2,max))
releases_res4<-matrix(apply(releases_res1,2,min))
plot(releases_res2, type="b", col="blue ", xlab="time[months]", ylab="volume[hm3]",
main="Releases")
dev.off()
png("Water_level_res1.png", width = 4*ppi, height = 4*ppi,res=ppi)
water_level_res<-as.data.frame(unlist(simRes1[["water_level"]]))
water_level_res0<-ts(water_level_res)
water_level_res1<-matrix(water_level_res0, nrow=27, ncol=12, byrow=TRUE)
water_level_res2<-matrix((apply(water_level_res1,2,mean)))
water_level_res3<-matrix((apply(water_level_res1,2,max)))
water_level_res4<-matrix((apply(water_level_res1,2,min)))
plot(water_level_res2,type="b", col="blue", xlab="time[months]", ylab="[m]",
main="WATER_LEVEL")
dev.off()
png("evaporation_res1.png", width = 4*ppi, height = 4*ppi,res=ppi)
evaporation_res<-as.data.frame(unlist(simRes1[["evaporation"]]))
evaporation_res0<-ts(evaporation_res)
evaporation_res1<-matrix(evaporation_res0, nrow=27, ncol=12, byrow=TRUE)
evaporation_res2<-matrix(apply(evaporation_res1,2,mean))
evaporation_res3<-matrix(apply(evaporation_res1,2,max))
evaporation_res4<-matrix(apply(evaporation_res1,2,min))

```



```

plot(evaporation_res2 ,type="b", col="blue", xlab="time[months]", ylab="[m]",
main="EVAPORATION")
dev.off()
png("group_plot_simRes1.png", width = 6*ppi, height = 6*ppi,res=ppi)
par(mfrow=c(3,2))
plot(storage_res2 ,type="b",col="blue", xlab="time[months]", ylab="volume[hm3]",
main="1.STORAGE")
plot(spill_res2,type="b", col="blue", xlab="time[months]", ylab="volume[hm3]",
main="2.SPILL")
plot(releases_res2,type="b", col="blue", xlab="time[months]", ylab="volume[hm3]",
main="3.RELEASES")
plot(water_level_res2 ,type="b", col="blue", xlab="time[months]", ylab="[m]",
main="4.WATER_LEVEL")
plot(evaporation_res2 ,type="b", col="blue", xlab="time[months]", ylab="[m]",
main="5.EVAPORATION")
dev.off()
simRes1results_mean<-cbind(storage_res2, releases_res2, spill_res2,
evaporation_res2, water_level_res2)
simRes1results_max<-cbind(storage_res3, releases_res3, spill_res3,
evaporation_res3, water_level_res3)
simRes1results_min<-cbind(storage_res4, releases_res4, spill_res4, evaporation_res4,
water_level_res4)

rrv1<-rrv(Q, capacity = 209.2, target =sum_demand1,
surface_area=7.3,
max_depth=40.75, evap= evaporation1,
double_cycle= FALSE, plot=TRUE)

#convert to a 100-year montly timeseries#
set.seed(14)
dirtyreps1_100<-dirtyreps(Q, reps=100, method = "kNNboot" )
dirtyreps2_100<-dirtyreps(Q, reps=100, method = "PARMA")

mean(dirtyreps1_100); mean(Q)
sd(dirtyreps1_100); sd(Q)

#Presenting_timeseries_statistics#
replicates_knn<-matrix(dirtyreps1_100, nrow=32400, ncol=12, byrow=TRUE)
colnames(replicates_knn)<-
c("JAN", "FEB", "MAR", "APR", "MAY", "JUN", "JUY", "AUG", "SEPT", "OCT", "NOV",
"DEC")
Listknn1 = list()
for (i in 1:100)
{ knn1<-matrix(dirtyreps1_100[,i],nrow=27, ncol=12, byrow=TRUE)
Listknn1[[length(Listknn1)+1]] = knn1 }
Listknn2=list()
for(i in 1:100)
{ knn2<-apply(Listknn1[[i]],2,mean)
Listknn2[[length(Listknn2)+1]] =knn2}
knn3<-as.data.frame(unlist(Listknn2))
knn4<-ts(knn3)
knn5<-matrix(knn4,nrow=100,ncol=12,byrow=TRUE)
knn6<-matrix(apply(knn5,2,mean))
knn7<-matrix(apply(knn5,2,max))

```

```

knn8<-matrix(apply(knn5,2,min))
knn9<-matrix(apply(knn5,2,sd))
replicates_knn_results<-cbind(knn6, knn9, knn7, knn8)
png("Timeseries100_knn.png", width = 4*ppi, height = 4*ppi,res=ppi)
boxplot(replicates_knn,xlab="time[months]", ylab="discharge",
col=c("red","lightblue","green","purple"),
      main="Boxplot-timeseries_knn_method",horizontal=FALSE, outline=FALSE)
dev.off()

replicates_parma<-matrix(dirtyreps2_100, nrow=32400, ncol=12, byrow=TRUE)
colnames(replicates_parma)<-
c("JAN","FEB","MAR","APR","MAY","JUN","JUY","AUG","SEPT","OCT","NOV",
  "DEC")
Listparma1 = list()
for (i in 1:100)
{parma1<-matrix(dirtyreps2_100[,i],nrow=27, ncol=12, byrow=TRUE)
Listparma1[[length(Listparma1)+1]] = parma1 }
Listparma2=list()
for(i in 1:100)
{parma2<-apply(Listparma1[[i]],2,mean)
Listparma2[[length(Listparma2)+1]] =parma2}
parma3<-as.data.frame(unlist(Listparma2))
parma4<-ts(parma3)
parma5<-matrix(parma4,nrow=100,ncol=12,byrow=TRUE)
parma6<-matrix(apply(parma5,2,mean))
parma7<-matrix(apply(parma5,2,max))
parma8<-matrix(apply(parma5,2,min))
parma9<-matrix(apply(parma5,2,sd))
replicates_parma_results<-cbind(parma6, parma9, parma7, parma8)
png("Timeseries100_parma.png",width = 4*ppi, height = 4*ppi,res=ppi)
boxplot(replicates_parma,xlab="time[months]", ylab="discharge",
col=c("red","lightblue","green","purple"),
      main="Boxplot-timeseries_PARMA_method",horizontal=FALSE,
outline=FALSE)
dev.off()

#timeseries_check1#
mean(mean_Q); mean(mean_replicates_knn)
mean(max_Q); mean(max_replicates_knn)
mean(min_Q); mean(min_replicates_knn)
mean(sd_Q); mean(sd_replicates_knn)
mean(mean_Q); mean(mean_replicates_parma)
mean(max_Q); mean(max_replicates_parma)
mean(min_Q); mean(min_replicates_parma)
mean(sd_Q); mean(sd_replicates_parma)

#knnboot method#
List1 = list()
for (i in 1:100)
{Q1<-ts(dirtyreps1_100[,i],start=c(1968,01) , end= c(1994,12), frequency = 12)
simRes2a<-simRes(Q1,capacity = 209.2, target =sum_demand1,
      surface_area=7.3,
      max_depth=40.75 ,evap= evaporation1,
      double_cycle= FALSE, plot=FALSE)

```

```

List1[[length(List1)+1]] = simRes2a}

#PARMA method#
List2 = list()
for (i in 1:100)
{Q2<-ts(dirtyreps2_100[,i],start=c(1968,01) , end= c(1994,12), frequency = 12)
simRes2b<-simRes(Q2,capacity = 209.2, target =sum_demand1,
                surface_area=7.3,
                max_depth=40.75 ,evap= evaporation1,
                double_cycle= FALSE, plot=FALSE)
List2[[length(List2)+1]] = simRes2b}

#mean_simRes2a#
#STORAGE#
List_ST<-list()
for (i in 1:100)
{ST<-matrix((List1[[i]][["storage"]]),nrow=27, ncol=12, byrow=TRUE)
List_ST[[length(List_ST)+1]] = ST}
List_ST1<-list()
for(i in 1:100)
{ST1<-apply(List_ST[[i]],2,mean)
List_ST1[[length(List_ST1)+1]] = ST1}
ST2<-as.data.frame(unlist(List_ST1))
ST3<-ts(ST2)
ST4<-matrix(ST3,nrow=100,ncol=12,byrow=TRUE)
ST5<-matrix(apply(ST4,2,mean))
ST6<-matrix(apply(ST4,2,max))
ST7<-matrix(apply(ST4,2,min))
rownames(ST5)<-
c("JAN","FEB","MAR","APR","MAY","JUN","JUY","AUG","SEPT","OCT","NOV",
"DEC")
#RELEASE#
List_REL<-list()
for (i in 1:100)
{REL<-matrix(List1[[i]][["releases"]],nrow=27, ncol=12, byrow=TRUE)
List_REL[[length(List_REL)+1]] = REL}
List_REL1<-list()
for(i in 1:100)
{REL1<-apply(List_REL[[i]],2,mean)
List_REL1[[length(List_REL1)+1]] = REL1}
REL2<-as.data.frame(unlist(List_REL1))
REL3<-ts(REL2)
REL4<-matrix(REL3,nrow=100,ncol=12,byrow=TRUE)
REL5<-matrix(apply(REL4,2,mean))
REL6<-matrix(apply(REL4,2,max))
REL7<-matrix(apply(REL4,2,min))
rownames(REL5)<-
c("JAN","FEB","MAR","APR","MAY","JUN","JUY","AUG","SEPT","OCT","NOV",
"DEC")
#EVAPORATION#
List_EV<-list()
for (i in 1:100)
{EV<-matrix(List1[[i]][["evaporation"]],nrow=27, ncol=12, byrow=TRUE)
List_EV[[length(List_EV)+1]] = EV}
List_EV1<-list()

```

```

for(i in 1:100)
{EV1<-apply(List_EV[[i]],2,mean)
List_EV1[[length(List_EV1)+1]] = EV1}
EV2<-as.data.frame(unlist(List_EV1))
EV3<-ts(EV2)
EV4<-matrix(EV3,nrow=100,ncol=12,byrow=TRUE)
EV5<-matrix(apply(EV4,2,mean))
EV6<-matrix(apply(EV4,2,max))
EV7<-matrix(apply(EV4,2,min))
#SPILL#
List_SP<-list()
for (i in 1:100)
{SP<-matrix(List1[[i]][["spill"]],nrow=27, ncol=12, byrow=TRUE)
List_SP[[length(List_SP)+1]] = SP}
List_SP1<-list()
for(i in 1:100)
{SP1<-apply(List_SP[[i]],2,mean)
List_SP1[[length(List_SP1)+1]] = SP1}
SP2<-as.data.frame(unlist(List_SP1))
SP3<-ts(SP2)
SP4<-matrix(SP3,nrow=100,ncol=12,byrow=TRUE)
SP5<-matrix(apply(SP4,2,mean))
SP6<-matrix(apply(SP4,2,max))
SP7<-matrix(apply(SP4,2,min))
rownames(SP5)<-
c("JAN","FEB","MAR","APR","MAY","JUN","JUY","AUG","SEPT","OCT","NOV",
"DEC")
#WATER_LEVEL#
List_WL<-list()
for (i in 1:100)
{WL<-matrix(List1[[i]][["water_level"]],nrow=27, ncol=12, byrow=TRUE)
List_WL[[length(List_WL)+1]] = WL}
List_WL1<-list()
for(i in 1:100)
{WL1<-apply(List_WL[[i]],2,mean)
List_WL1[[length(List_WL1)+1]] = WL1}
WL2<-as.data.frame(unlist(List_WL1))
WL3<-ts(WL2)
WL4<-matrix(WL3,nrow=100,ncol=12,byrow=TRUE)
WL5<-matrix(apply(WL4,2,mean))
WL6<-matrix(apply(WL4,2,max))
WL7<-matrix(apply(WL4,2,min))
rownames(WL5)<-
c("JAN","FEB","MAR","APR","MAY","JUN","JUY","AUG","SEPT","OCT","NOV",
"DEC")
RESULTS_knn_mean<-cbind(ST5,REL5,SP5,EV5,WL5)
RESULTS_knn_max<-cbind(ST6,REL6,SP6,EV6,WL6)
RESULTS_knn_min<-cbind(ST7,REL7,SP7,EV7,WL7)

#mean_simRes2b#
#STORAGE#
List_STb<-list()
for (i in 1:100)
{STb<-matrix((List2[[i]][["storage"]]),nrow=27, ncol=12, byrow=TRUE)
List_STb[[length(List_STb)+1]] = STb}

```

```

List_ST1b<-list()
for(i in 1:100)
{ST1b<-apply(List_STb[[i]],2,mean)
List_ST1b[[length(List_ST1b)+1]] = ST1b}
ST2b<-as.data.frame(unlist(List_ST1b))
ST3b<-ts(ST2b)
ST4b<-matrix(ST3b,nrow=100,ncol=12,byrow=TRUE)
ST5b<-matrix(apply(ST4b,2,mean))
ST6b<-matrix(apply(ST4b,2,max))
ST7b<-matrix(apply(ST4b,2,min))
rownames(ST5b)<-
c("JAN","FEB","MAR","APR","MAY","JUN","JUY","AUG","SEPT","OCT","NOV",
"DEC")
#RELEASE#
List_RELb<-list()
for (i in 1:100)
{RELb<-matrix(List2[[i]][["releases"]],nrow=27, ncol=12, byrow=TRUE)
List_RELb[[length(List_RELb)+1]] = RELb}
List_REL1b<-list()
for(i in 1:100)
{REL1b<-apply(List_RELb[[i]],2,mean)
List_REL1b[[length(List_REL1b)+1]] = REL1b}
REL2b<-as.data.frame(unlist(List_REL1b))
REL3b<-ts(REL2b)
REL4b<-matrix(REL3b,nrow=100,ncol=12,byrow=TRUE)
REL5b<-matrix(apply(REL4b,2,mean))
REL6b<-matrix(apply(REL4b,2,max))
REL7b<-matrix(apply(REL4b,2,min))
rownames(REL5b)<-
c("JAN","FEB","MAR","APR","MAY","JUN","JUY","AUG","SEPT","OCT","NOV",
"DEC")
#EVAPORATION#
List_EVb<-list()
for (i in 1:100)
{EVb<-matrix(List2[[i]][["evaporation"]],nrow=27, ncol=12, byrow=TRUE)
List_EVb[[length(List_EVb)+1]] = EVb}
List_EV1b<-list()
for(i in 1:100)
{EV1b<-apply(List_EVb[[i]],2,mean)
List_EV1b[[length(List_EV1b)+1]] = EV1b}
EV2b<-as.data.frame(unlist(List_EV1b))
EV3b<-ts(EV2b)
EV4b<-matrix(EV3b,nrow=100,ncol=12,byrow=TRUE)
EV5b<-matrix(apply(EV4b,2,mean))
EV6b<-matrix(apply(EV4b,2,max))
EV7b<-matrix(apply(EV4b,2,min))
rownames(EV5b)<-
c("JAN","FEB","MAR","APR","MAY","JUN","JUY","AUG","SEPT","OCT","NOV",
"DEC")
#SPILL#
List_SPb<-list()
for (i in 1:100)
{SPb<-matrix(List2[[i]][["spill"]],nrow=27, ncol=12, byrow=TRUE)
List_SPb[[length(List_SPb)+1]] = SPb}
List_SP1b<-list()

```

```

for(i in 1:100)
{ SP1b<-apply(List_SPb[[i]],2,mean)
List_SP1b[[length(List_SP1b)+1]] = SP1b}
SP2b<-as.data.frame(unlist(List_SP1b))
SP3b<-ts(SP2b)
SP4b<-matrix(SP3b,nrow=100,ncol=12,byrow=TRUE)
SP5b<-matrix(apply(SP4b,2,mean))
SP6b<-matrix(apply(SP4b,2,max))
SP7b<-matrix(apply(SP4b,2,min))
rownames(SP5b)<-
c("JAN","FEB","MAR","APR","MAY","JUN","JUY","AUG","SEPT","OCT","NOV",
"DEC")
#WATER_LEVEL#
List_WLb<-list()
for (i in 1:100)
{ WLb<-matrix(List2[[i]][["water_level"]],nrow=27, ncol=12, byrow=TRUE)
List_WLb[[length(List_WLb)+1]] = WLb}
List_WL1b<-list()
for(i in 1:100)
{ WL1b<-apply(List_WLb[[i]],2,mean)
List_WL1b[[length(List_WL1b)+1]] = WL1b}
WL2b<-as.data.frame(unlist(List_WL1b))
WL3b<-ts(WL2b)
WL4b<-matrix(WL3b,nrow=100,ncol=12,byrow=TRUE)
WL5b<-matrix(apply(WL4b,2,mean))
WL6b<-matrix(apply(WL4b,2,max))
WL7b<-matrix(apply(WL4b,2,min))
rownames(WL5b)<-
c("JAN","FEB","MAR","APR","MAY","JUN","JUY","AUG","SEPT","OCT","NOV",
"DEC")

RESULTS_parma_mean<-cbind(ST5b,REL5b,SP5b,EV5b,WL5b)
RESULTS_parma_max<-cbind(ST6b,REL6b,SP6b,EV6b,WL6b)
RESULTS_parma_min<-cbind(ST7b,REL7b,SP7b,EV7b,WL7b)

#rrv#
List3 = list()
for (i in 1:100)
{ rrv2a<-rrv(dirtyreps1_100[,i], capacity = 209.2, target =sum_demand1,
surface_area=7.3,
max_depth=40.75, evap= evaporation1,
double_cycle= FALSE, plot=FALSE)
List3[[length(List3)+1]] = rrv2a }

List4 = list()
for (i in 1:100)
{ rrv2b<-rrv(dirtyreps2_100[,i], capacity = 209.2, target =sum_demand1,
surface_area=7.3,
max_depth=40.75, evap= evaporation1,
double_cycle= FALSE, plot=FALSE)
List4[[length(List4)+1]] = rrv2b}
#mean_rrv2a#
for( i in 1:100) { print((List3[[i]][["annual_reliability"]]))}

```

```

for( i in 1:100) { print(max(List3[[i]][["time_based_reliability"]]))}
for( i in 1:100) { print(max(List3[[i]][["volumetric_reliability"]]))}
for( i in 1:100) { print(max(List3[[i]][["resilience"]]))}
for( i in 1:100) { print(max(List3[[i]][["vulnerability"]]))}
#mean_rrv2b#
for( i in 1:100) { print((List4[[i]][["annual_reliability"]]))}
for( i in 1:100) { print(max(List4[[i]][["time_based_reliability"]]))}
for( i in 1:100) { print(max(List4[[i]][["volumetric_reliability"]]))}
for( i in 1:100) { print(max(List4[[i]][["resilience"]]))}
for( i in 1:100) { print(max(List4[[i]][["vulnerability"]]))}

#plots_random_time_series_7#
for (i in 6:7)
{timeseries7<-matrix(dirtyreps1_100[,i], nrow=27, ncol=12, byrow=TRUE )}
#PLOT_kNN_TIMESERIES7#
ST8a1<-as.data.frame(unlist(List1[[7]][["storage"]]))
ST8a2<-ts(ST8a1)
ST8a3<-matrix(ST8a2,nrow=27,ncol=12,byrow=TRUE)
ST8a4<-matrix(apply(ST8a3, 2,mean))
REL8a1<-as.data.frame(unlist(List1[[7]][["releases"]]))
REL8a2<-ts(REL8a1)
REL8a3<-matrix(REL8a2,nrow=27,ncol=12,byrow=TRUE)
REL8a4<-matrix(apply(REL8a3, 2,mean))
SP8a1<-as.data.frame(unlist(List1[[7]][["spill"]]))
SP8a2<-ts(SP8a1)
SP8a3<-matrix(SP8a2,nrow=27,ncol=12,byrow=TRUE)
SP8a4<-matrix(apply(SP8a3, 2,mean))
EV8a1<-as.data.frame(unlist(List1[[7]][["evaporation"]]))
EV8a2<-ts(EV8a1)
EV8a3<-matrix(EV8a2,nrow=27,ncol=12,byrow=TRUE)
EV8a4<-matrix(apply(EV8a3, 2,mean))
WL8a1<-as.data.frame(unlist(List1[[7]][["water_level"]]))
WL8a2<-ts(WL8a1)
WL8a3<-matrix(WL8a2,nrow=27,ncol=12,byrow=TRUE)
WL8a4<-matrix(apply(WL8a3, 2,mean))
#PLOT_PARMA_TIMESERIES7#
for (i in 6:7)
{timeseries7b<-matrix(dirtyreps2_100[,i], nrow=27, ncol=12, byrow=TRUE )}
ST8b1<-as.data.frame(unlist(List2[[7]][["storage"]]))
ST8b2<-ts(ST8b1)
ST8b3<-matrix(ST8b2,nrow=27,ncol=12,byrow=TRUE)
ST8b4<-matrix(apply(ST8b3, 2,mean))
REL8b1<-as.data.frame(unlist(List2[[7]][["releases"]]))
REL8b2<-ts(REL8b1)
REL8b3<-matrix(REL8b2,nrow=27,ncol=12,byrow=TRUE)
REL8b4<-matrix(apply(REL8b3, 2,mean))
SP8b1<-as.data.frame(unlist(List2[[7]][["spill"]]))
SP8b2<-ts(SP8b1)
SP8b3<-matrix(SP8b2,nrow=27,ncol=12,byrow=TRUE)
SP8b4<-matrix(apply(SP8b3, 2,mean))
EV8b1<-as.data.frame(unlist(List2[[7]][["evaporation"]]))
EV8b2<-ts(EV8b1)
EV8b3<-matrix(EV8b2,nrow=27,ncol=12,byrow=TRUE)
EV8b4<-matrix(apply(EV8b3, 2,mean))
WL8b1<-as.data.frame(unlist(List2[[7]][["water_level"]]))

```

```

WL8b2<-ts(WL8b1)
WL8b3<-matrix(WL8b2,nrow=27,ncol=12,byrow=TRUE)
WL8b4<-matrix(apply(WL8b3, 2,mean))

#presenting_simRes2_results#
png("STORAGE_knn.png", width = 4*ppi, height = 4*ppi,res=ppi)
plot(ST8a4, type="b", col="peachpuff4", xlab="time[months]",
ylab="volume[hm3]", main="STORAGE_Knn_Simulation_Results")
dev.off()
png("RELEASE_knn.png", width = 4*ppi, height = 4*ppi,res=ppi)
plot(REL8a4, type="b", col="peachpuff4", xlab="time[months]",
ylab="volume[hm3]", main="RELEASES_Knn_Simulation_Results")
dev.off()
png("SPILL_knn.png", width = 4*ppi, height = 4*ppi,res=ppi)
plot(SP8a4, type="b", col="peachpuff4", xlab="time[months]", ylab="volume[hm3]",
main="SPILL_Knn_Simulation_Results")
dev.off()
png("EVAPORATION_knn.png", width = 4*ppi, height = 4*ppi,res=ppi)
plot(EV8a4, type="b", col="peachpuff4", xlab="time[months]", ylab="[m]",
main="EVAPORATION_Knn_Simulation_Results")
dev.off()
png("WATER_LEVEL_knn.png", width = 4*ppi, height = 4*ppi,res=ppi)
plot(WL8a4, type="b", col="peachpuff4", xlab="time[months]", ylab="[m]",
main="WATER_LEVEL_Knn_Simulation_Results")
dev.off()

png("STORAGE_PARMA.png", width = 4*ppi, height = 4*ppi,res=ppi)
plot(ST8b4, type="b", col="violetred4", xlab="time[months]", ylab="volume[hm3]",
main="STORAGE_PARMA_Simulation_Results")
dev.off()
png("RELEASE_PARMA.png", width = 4*ppi, height = 4*ppi,res=ppi)
plot(REL8b4, type="b", col="violetred4", xlab="time[months]",
ylab="volume[hm3]", main="RELEASES_PARMA_Simulation_Results")
dev.off()
png("SPILL_PARMA.png", width = 4*ppi, height = 4*ppi,res=ppi)
plot(SP8b4, type="b", col="violetred4", xlab="time[months]", ylab="volume[hm3]",
main="SPILL_PARMA_Simulation_Results")
dev.off()
png("EVAPORATION_PARMA.png", width = 4*ppi, height = 4*ppi,res=ppi)
plot(EV8b4, type="b", col="violetred4", xlab="time[months]", ylab="[m]",
main="EVAPORATION_PARMA_Simulation_Results")
dev.off()
png("WATER_LEVEL_PARMA.png", width = 4*ppi, height = 4*ppi,res=ppi)
plot(WL8b4, type="b", col="violetred4", xlab="time[months]", ylab="[m]",
main="WATER_LEVEL_PARMA_Simulation_Results")
dev.off()

png("group_plot_simRes2A.png", width = 6*ppi, height = 6*ppi,res=ppi)
par(mfrow=c(3,2))
plot(ST8a4, type="b", col="peachpuff4", xlab="time[months]",
ylab="volume[hm3]", main="1.STORAGE")
plot(REL8a4, type="b", col="peachpuff4", xlab="time[months]",
ylab="volume[hm3]", main="2.RELEASES")
plot(SP8a4, type="b", col="peachpuff4", xlab="time[months]", ylab="volume[hm3]",
main="3.SPILL")

```



```

plot(EV8a4, type="b", col="peachpuff4", xlab="time[months]", ylab="[m]",
main="4.EVAPORATION")
plot(WL8a4, type="b", col="peachpuff4", xlab="time[months]", ylab="[m]",
main="5.WATER_LEVEL")
dev.off()
png("group_plot_simRes2b.png", width = 6*ppi, height = 6*ppi,res=ppi)
par(mfrow=c(3,2))
plot(ST8b4, type="b", col="violetred4", xlab="time[months]", ylab="volume[hm3]",
main="1.STORAGE")
plot(REL8b4, type="b", col="violetred4", xlab="time[months]",
ylab="volume[hm3]", main="2.RELEASES")
plot(SP8b4, type="b", col="violetred4", xlab="time[months]", ylab="volume[hm3]",
main="3.SPILL")
plot(EV8b4, type="b", col="violetred4", xlab="time[months]", ylab="[m]",
main="4.EVAPORATION")
plot(WL8b4, type="b", col="violetred4", xlab="time[months]", ylab="[m]",
main="5.WATER_LEVEL")
dev.off()

save.image(file = "smokovo1A.RData")

```